



# Variabilidad Ambiental y Pesquerías en México

Editora: Juana López Martínez



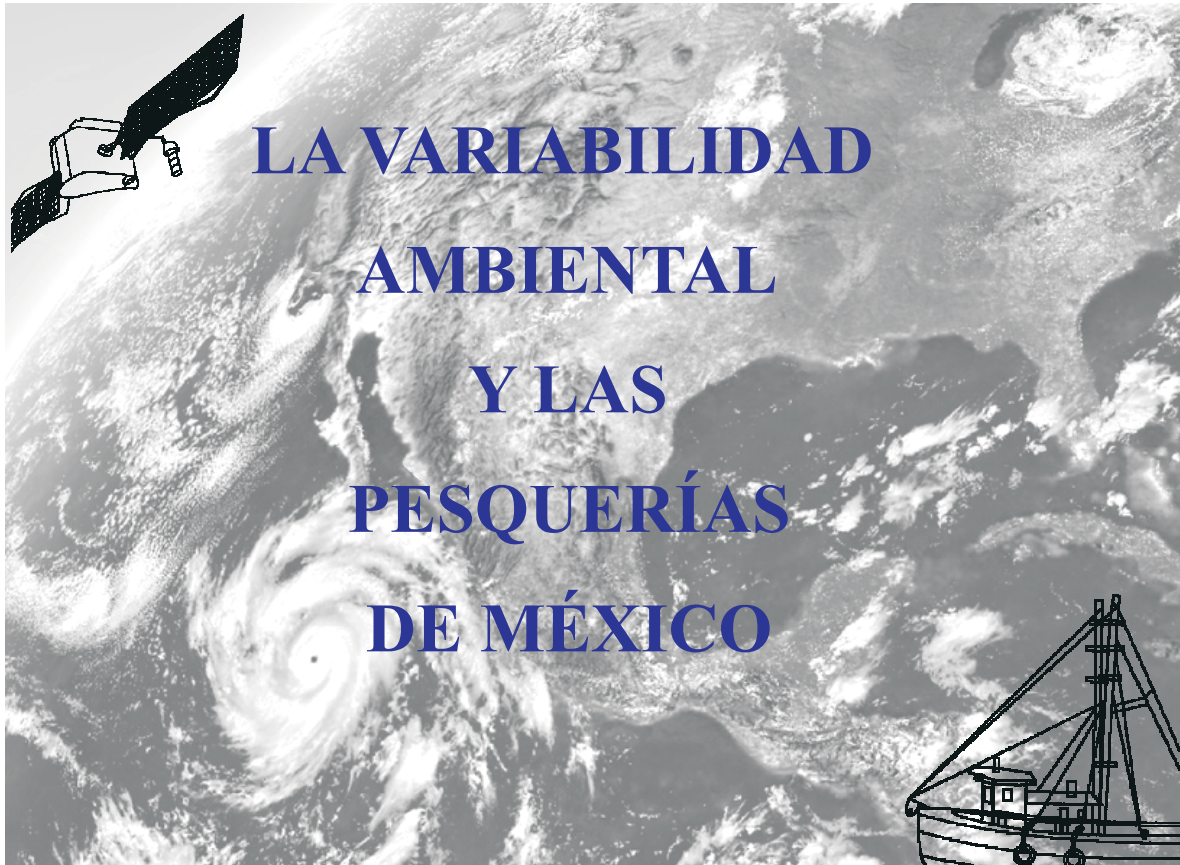
**Vivir  
Mejor**

**SAGARPA**

**GOBIERNO  
FEDERAL**







**LA VARIABILIDAD  
AMBIENTAL  
Y LAS  
PESQUERÍAS  
DE MÉXICO**

**Juana López Martínez**

**Editora**



## **PREPARACIÓN DE ESTE DOCUMENTO**

El libro “**La Variabilidad Ambiental y las Pesquerías de México**” fue elaborado con el financiamiento de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. La edición y revisión estuvo a cargo de la Dra. Juana López Martínez (CIBNOR). En este documento se integra la visión y conocimiento de especialistas de diversas instituciones, así como resultados de sus proyectos de investigación.

Las referencias bibliográficas aparecen al final de cada capítulo tal y como fueron presentadas por los autores.

## **CITA DE ESTE DOCUMENTO**

### **Para citar el libro:**

López-Martínez, J. (Ed) 2008. La Variabilidad Ambiental y las Pesquerías de México. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México, 200 p.

### **Ejemplo para citar algún capítulo:**

Chavez, E. A. y Castro O., J. L., 2008. Impacto del cambio climático sobre las pesquerías de la zona de transición templado-cálida del Pacífico oriental mexicano. p. 68 – 81. En: La Variabilidad Ambiental y las Pesquerías de México. López-Martínez, J., (Ed) Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. México. 200 p.

## PRESENTACIÓN

Hoy día es claro que el conocimiento sobre la variabilidad ambiental debe ser un insumo de los esquemas de uso y manejo sustentable de los recursos naturales. Esta cultura se encuentra ya arraigada en algunos campos, como en el sector agropecuario, donde desde hace ya muchas generaciones sabemos que existe un riesgo en la actividad asociado a la variabilidad climática; por ejemplo, que periodos de sequía conllevan bajos rendimientos en la producción agrícola de diversos cultivos. Sin embargo, en otros, como el sector pesquero, la receta generalizada es considerar a los recursos como poblaciones estables y constantes, independientes de su entorno y particularmente de las variaciones climáticas.

En nuestros tiempos, enfrentamos con cada vez mayor claridad una creciente demanda de alimentos y de oportunidades de desarrollo y empleo, así como una señal climática cambiante, que incluye el calentamiento sostenido del planeta. En este escenario, resulta urgente dedicar esfuerzo, personal y recursos al análisis de las relaciones entre los cambios climáticos y los recursos vivos del mar y al diseño de estrategias y métodos para incorporar dicho conocimiento a los esquemas de administración y manejo.

Más aún, es claro que, tal como sucede para otras actividades primarias, el tema de variabilidad ambiental debe formar parte de la percepción generalizada de lo que es la pesca, para ser incluido a futuro como un elemento más a considerar en los diversos ámbitos que tienen que ver con el sector pesca, incluyendo aspectos legales y normativos, la planeación pública o empresarial y las iniciativas de desarrollo sustentable. En este sentido, la importancia de la presente obra va más allá de una pieza de literatura científica o de referencia y constituye, más bien, un medio para acercar al público interesado al tema de variabilidad climática y sus impactos en los recursos marinos.

*Dr. Sergio Hernández Vázquez*

Director General del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

La Paz, B.C.S., Agosto del 2008



## PROLOGO

Por siglos han existido diferentes escuelas de pensamiento que explican las variaciones de las abundancias de las poblaciones, siendo las mas conocidas (aunque no las únicas) las que hacen referencia a factores extrínsecos (ambiental o densoindependiente) y factores intrínsecos a la población misma y su interrelación con sus depredadores y sus presas (densodependiente). Hasta la fecha este tema constituye uno de los tópicos centrales de la Ecología poblacional. Y es que en realidad, en la variación de las abundancias poblacionales influyen muchos factores, mismos que se adicionan entre si, generando respuestas espectaculares en las poblaciones.

En el medio marino, es difícil diferenciar los efectos de ambos tipos de factores, toda vez que nuestro conocimiento se ha construido a través de supuestos, ya que a diferencia del medio terrestre donde nuestros censos son visuales, en el medio acuático no vemos a los organismos e inferimos en base a lo que extraemos, suponiendo que los organismos mantienen su hábitat fijo. Esta situación se agrava más en las poblaciones sujetas a explotación pesquera, ya que adicional a lo anterior, la pesca puede ser igualmente promotora de grandes cambios en las poblaciones. Luego entonces, es una causa más de variación, sin embargo no la única, como durante mucho tiempo se ha creído.

A medida que la ciencia avanza y contamos con aparatos de medición que nos ofrecen información que rebasa la vida promedio de los investigadores (esto es, investigación de largo plazo), además de contar con información transfronteriza y una mayor colaboración entre los investigadores de diversos países, nos queda mas claro que las poblaciones marinas están sujetas no solo a variaciones de corta escala temporal (diaria, estacional o anual) y espacial (localidades, regiones), sino a variaciones de gran escala (en periodo de tiempo de décadas y aun milenios y en espacios que abarcan cuencas enteras). Entender los procesos que dan origen a esos patrones e incorporarlos a las evaluaciones de los recursos pesqueros es uno de los retos de la ciencia pesquera actual, sobre todo a la luz del cambio climático global en el que estamos inmersos, si se quiere llegar a evaluaciones más apegadas a la realidad, con el objetivo de lograr la sustentabilidad.

Sin embargo, el científico pesquero tradicional, las autoridades encargadas de la administración de los recursos, así como muchos de nuestros estudiantes en formación, son poco adictos a considerar el medio ambiente físico en el que están inmersas las poblaciones explotadas, en la mayoría de los casos, porque no tenemos una formación “formal” en el área y porque la oceanografía y meteorología, que de por si son ciencias muy complejas, normalmente se han visto muy aisladas de nuestra formación pesquera. Para ellos va dirigido este libro, que en su primera sección presenta las variaciones en el ambiente físico y sus potenciales orígenes, así como la respuesta generalizada de las poblaciones. En su segunda sección y con el apoyo de excelentes investigadores especialistas de las ciencias pesqueras de México, se presentan ejemplos de cómo se han abordado esas variaciones para diferentes recursos tales como el calamar gigante, el camarón, el atún, entre otros. Se pretende pues, ser un medio de acercar al no especialista al fascinante mundo de las interacciones ambiente-pesquerías.

*Juana López Martínez*

## **AGRADECIMIENTOS**

Como toda obra literaria, en el desarrollo del presente trabajo intervino más de una persona. Agradezco profundamente el apoyo de los revisores anónimos, cuya función es trascendental para el desarrollo de una buena obra. A la Comisión Nacional de Pesca, a través de su Departamento de Ordenamiento Pesquero por el apoyo recibido en la impresión del presente documento, específicamente al Ing. Raúl Villaseñor Talavera, por haber creído en nuestro trabajo. Al Dr. Sergio Hernández, Director General del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. por la confianza depositada en sus investigadores y las facilidades otorgadas para el desarrollo de nuestro trabajo. A los autores de los diversos capítulos del libro, excelentes investigadores y profundos conocedores de la pesca en México. Agradezco igualmente el apoyo logístico en la edición del documento del Ing. Mar. David Urias Laborín y el M.C. Carlos Rábago, de los laboratorios de Manejo Costero y Pesquerías de la Unidad Sonora del CIBNOR.



## CONTENIDO

Presentación	ii
Prologo	iii

### SECCIÓN I. AMBIENTE Y POBLACIONES MARINAS

La variabilidad ambiental y las poblaciones marinas. <i>J. López Martínez</i>	2
1. Naturaleza cambiante de la tierra.	2
2. Escalas, patrones y procesos.	22
3. Escalas de variabilidad.	25
4. Las poblaciones ante la variabilidad.	
5. ¿Cómo hemos considerado esta variación en diversas escalas en las poblaciones?.	55

### SECCIÓN II. PESQUERÍAS Y AMBIENTE

Impacto del cambio climático sobre las pesquerías de la zona de transición templado-cálida del Pacífico oriental mexicano. <i>E. A. Chávez y J. L. Castro-Ortiz</i>	68
Variabilidad del clima y pesquerías del noroeste mexicano. <i>S. E. Lluch-Cota, M. V. Morales-Zárata y D. B. Lluch-Cota</i>	82
El efecto del ENOS 1997-1998 en la distribución del atún aleta amarilla ( <i>Thunnus albacares</i> ). <i>S. Ortega-García y R. Rodríguez-Sánchez</i>	87
Influencia ambiental en la pesquería de camarón. <i>J. López-Martínez, S. Hernández-Vázquez, E. Herrera-Valdivia, J. Rodríguez-Romero y E. A. Chávez</i>	111
La pesquería del calamar gigante ( <i>Dosidicus gigas</i> ) del Golfo de California y su relación con la variabilidad ambiental.	124

<i>M. O. Nevárez-Martínez, E. Morales-Bojórquez y G. I. Rivera-Parra</i>	
Pulsos de abundancia de la almeja catarina ( <i>Argopecten ventricosus</i> ) en Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. <i>M. Verónica Morales-Zárte</i>	136
Influencia de los procesos costeros sobre la distribución de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> (Agassiz, 1860) en el Golfo de California. <i>M. S. Burrola-Sánchez, J. López-Martínez, G. Padilla-Arredondo, D. Urias-Laborín y J. Padilla-Serrato</i>	156
Las capturas de sardina monterrey <i>Sardinops sagax</i> (Jenyns, 1842) y su relación con el ambiente y el esfuerzo pesquero. <i>M. O. Nevárez-Martínez, M. A. Cisneros-Mata y D. Lluch-Belda</i>	178



## **SECCIÓN I**

### **AMBIENTE Y POBLACIONES MARINAS**

# **LA VARIABILIDAD AMBIENTAL Y LAS POBLACIONES MARINAS**

*Juana López Martínez*

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Unidad Guaymas. A. P. 349, Guaymas, Sonora 85465, México.

e-mail: jlopez04@cibnor.mx

## **INTRODUCCIÓN**

La ecología teórica y más generalmente la ciencia teórica relaciona procesos que ocurren en diferentes escalas en tiempo, espacio y complejidad organizacional. Entender los patrones en términos de los procesos que originaron estos es la clave para el desarrollo de principios para el manejo dinámico de los recursos naturales. Sin un entendimiento de los mecanismos, se debe evaluar cada nuevo estrés en cada nuevo sistema, sin ninguna base científica para extrapolación; con tal entendimiento, se pueden desarrollar los fundamentos para el manejo.

A medida que se van acumulando bases de datos lo suficientemente largas para observar comportamientos de larga escala de diversas poblaciones, cada vez más se ha reconocido el hecho de que las poblaciones naturales están inmersas en una serie de variaciones ambientales temporales y espaciales (desde minutos, hasta milenios, desde milímetros hasta nivel de cuenca) a las cuales tienen que responder desarrollando diferentes estrategias de vida con la finalidad de hacer frente al forzamiento, además de aprovechar los patrones generados en su propio beneficio y para su permanencia como especie.

Debido al periodo corto de vida de los científicos, generalmente optamos por analizar variaciones en escalas de tiempo corto y en el ámbito regional, sin embargo, los organismos que estudiamos no solo están inmersos en esas variaciones, sino que tienen que hacer frente a variaciones de escalas mucho mayor, las cuales se traslapan en ocurrencia y dan como resultado una serie de patrones complejos. Esta sección tiene como finalidad analizar las diversas escalas de variación y algunos de los factores forzantes en dichas escalas, así como las respuestas de las poblaciones a estos eventos.

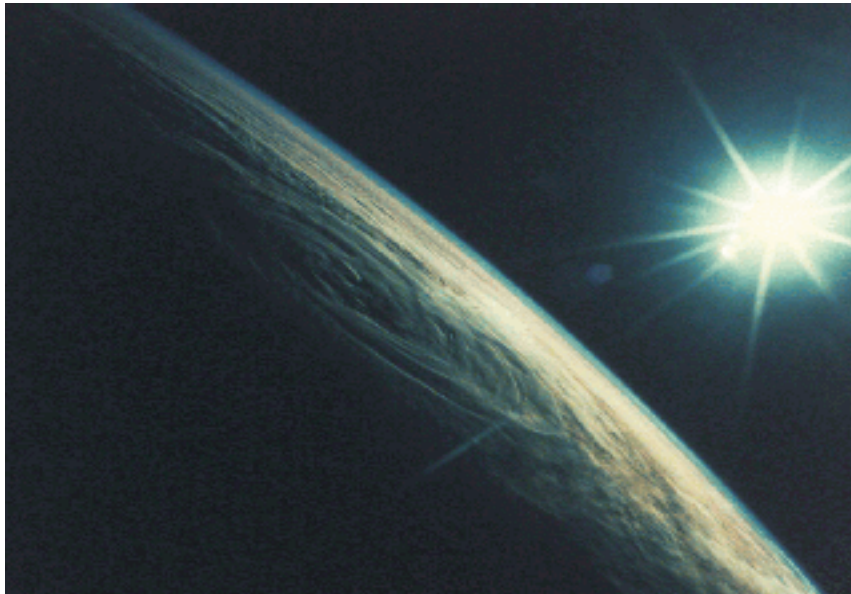
### **1. NATURALEZA CAMBIANTE DE LA TIERRA**

El planeta tierra es un sistema altamente variable, tanto en su conjunto como en cada una de sus partes. Este hecho se lo confiere la principal fuente de energía que llega a la tierra en forma de radiación y que mantiene la vida en el planeta; el sol. La luz que llega a la



superficie de la tierra y el calor que se genera en la atmósfera es esencial para los tipos de vida que existen en nuestro planeta.

El calor mantiene una temperatura adecuada y la luz, entre muchas otras cosas, sirve de fuente de energía para las plantas, que juegan un papel determinante para la vida en el planeta al ser los únicos organismos capaces de generar su propio alimento y por lo tanto, forman la base de las cadenas alimenticias tanto marinas como terrestres. Un hito importante en la historia de vida de nuestro planeta, ha sido el momento en que algunos organismos empezaron a utilizar esta energía solar, lo que supuso un cambio revolucionario de consecuencias trascendentales para la vida en la tierra.



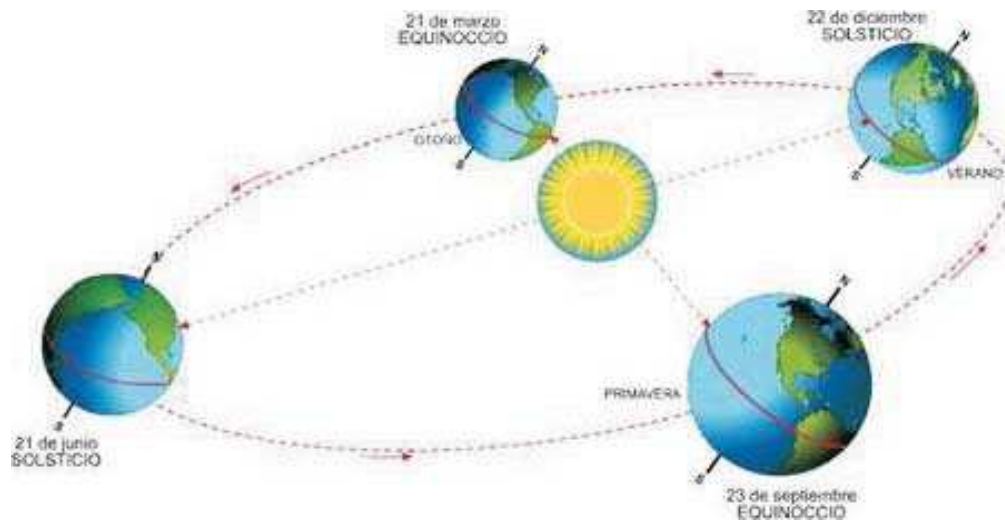
**Figura 1.** El sol es la principal fuente de energía que mantiene la vida en la tierra.

Además de lo anterior, por el proceso de la fotosíntesis se libera oxígeno, sin este proceso la tierra estaría desprovista o exenta del oxígeno que contiene y que resulta vital para muchos organismos (Odum 1971, Parson y Takahashi 1973, Krebs 1985). A través de la fotosíntesis se produce energía química y alimentos para las plantas a partir de la luz solar. Las consecuencias han sido: cambios de la atmósfera y una radiación evolutiva de todas las formas de vida, de tal forma que si la fotosíntesis no se pudiera efectuar, todos los seres vivos desaparecerían.

La variabilidad se considera una propiedad intrínseca del sistema climático de la tierra. El clima se puede considerar la suma, en sentido amplio, de los diferentes patrones del tiempo que día a día afectan una región. Esta definición, sugiere que el clima es una propiedad dinámica, que se mueve dentro de límites llamados “Variabilidad Natural del Clima” (Naranjo-Díaz 2008).

Y si bien podemos caracterizar a una región como caliente o fría y húmeda o seca, los ciclos regulares de cambio son aspectos tan importantes del clima como los promedios de temperatura y precipitación de largo plazo. Los ciclos periódicos en el clima están basados en eventos astronómicos cíclicos: la periodicidad diaria en el medio ambiente es causada por la rotación de la tierra sobre su eje; el movimiento de la luna alrededor de la tierra determina la periodicidad de las mareas; el movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol causa las estaciones del año (Fig. 2).

Cada uno de los eventos anteriores son claramente detectables por nosotros, sin embargo existen otros que no son tan obvios debido a las escalas de tiempo y espacio en la que ocurren y que pueden tener repercusiones en el ambiente físico (ya que la radiación solar provee energía para la circulación atmosférica y oceánica) y en las poblaciones inmersas en ese ambiente físico, mismos que revisaremos someramente.



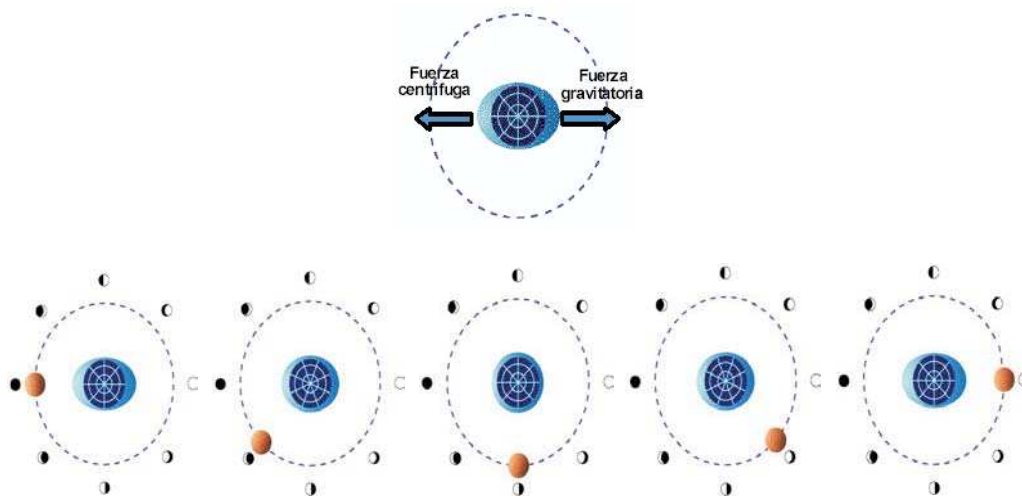
**Figura 2.** Estaciones del año. Fuente: *Sociedad Astronómica del Planetario Alfa, Monterrey N.L. México.*

## ***EL SOL***

Es la estrella más cercana a la Tierra y el mayor elemento del Sistema Solar. Las estrellas son los únicos cuerpos del Universo que emiten luz. El Sol es también nuestra principal fuente de energía, que se manifiesta sobre todo, en forma de luz y calor.

El Sol contiene más del 99% de toda la materia del Sistema Solar. Ejerce una fuerte atracción gravitatoria sobre los planetas y los hace girar a su alrededor. Se formó hace 4,650 millones de años y tiene combustible para 5,000 millones más. Después, comenzará a

hacerse más y más grande, hasta convertirse en una gigante roja. Finalmente, se hundirá por su propio peso y se convertirá en una enana blanca, que puede tardar un trillón de años en enfriarse.



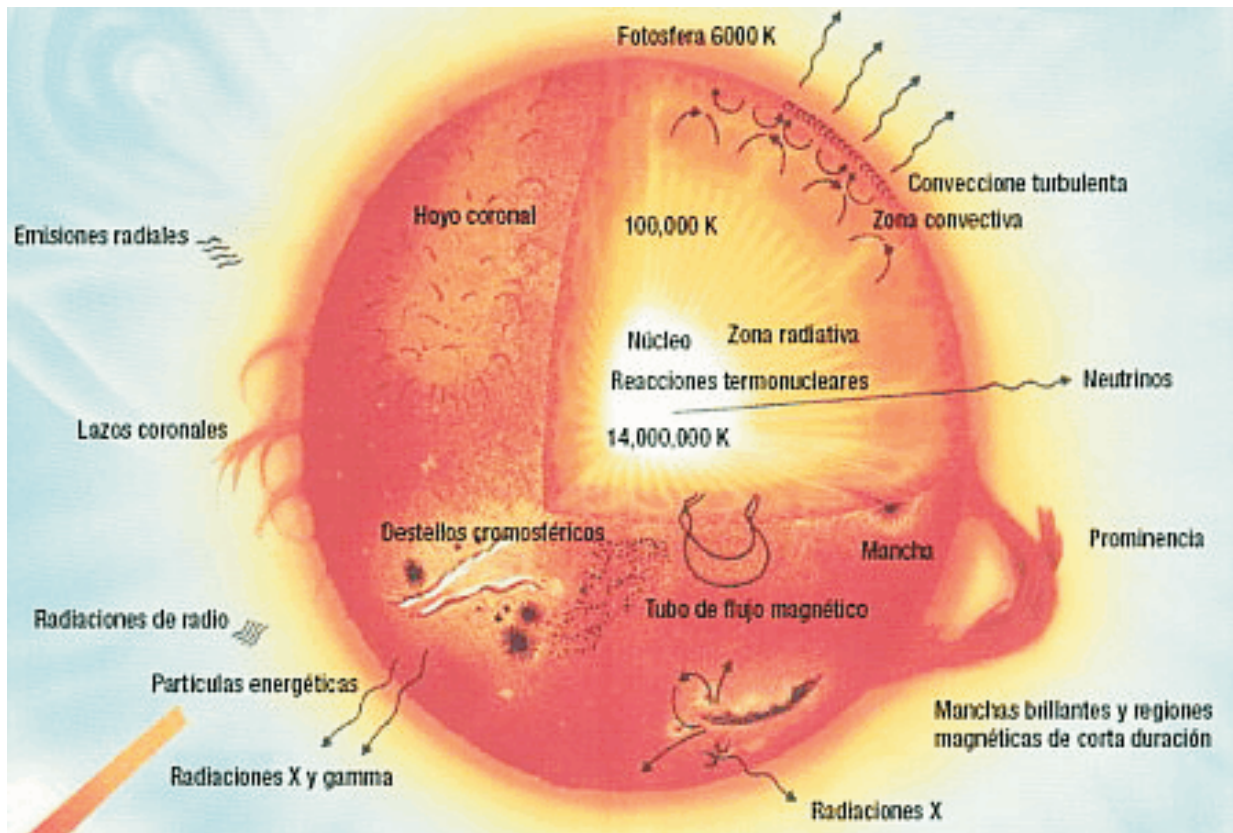
Marea: Ascenso y descenso de las aguas de la Tierra causados por la atracción gravitatoria de la Luna y del Sol.

**Figura 3.** La variabilidad es una propiedad intrínseca del sistema climático de la tierra, mostrando ciclos en diferentes escalas, algunos de ellos visibles como las mareas o las estaciones del año. Fuente: *Ciencias de la tierra y el espacio. Asociación de investigaciones biodinámicas.*

El Sol (todo el Sistema Solar) gira alrededor del centro de la Vía Láctea, nuestra galaxia. Da una vuelta cada 200 millones de años. Ahora se mueve hacia la constelación de Hércules a 19 Km./s. Actualmente el Sol se estudia desde satélites, como el Observatorio Heliosférico y Solar (SOHO), dotados de instrumentos que permiten apreciar aspectos que, hasta ahora, no se habían podido estudiar.

La energía solar se crea en el interior del Sol, donde la temperatura llega a los 15 millones de grados, con una presión altísima, que provoca reacciones nucleares (Fig. 4). Se liberan protones (núcleos de hidrógeno), que se funden en grupos de cuatro para formar partículas alfa (núcleos de helio). Cada partícula alfa pesa menos que los cuatro protones juntos. La diferencia se expulsa hacia la superficie del Sol en forma de energía. Un gramo de materia solar libera tanta energía como la combustión de 2,5 millones de litros de gasolina.

El sol emite al espacio 400 cuatrillones de watts de la energía que es producida por reacciones nucleares del centro del sol gracias a la acción de dos mecanismos: la convección y la radiación. En la zona convectiva del sol, masas de gas caliente se mueven hacia afuera y masas de gas frío hacia adentro, en forma cíclica, lo que disipa calor del interior (Fig. 4).



**Figura 4.** El sol emite al espacio 400 cuatrillones de watt de energía. La tierra recibe, en forma de radiación electromagnética, cerca de mil watts/cm<sup>2</sup> (la constante solar). Fuente: *Astromía*. <http://www.astromia.com/solar/estrucsol.htm>

Por otra parte, la superficie del sol, también llamada fotosfera, emite energía al espacio en forma de radiación electromagnética, es decir, en forma de ondas electromagnéticas (fluctuaciones de los campos eléctrico y magnético que viajan en el espacio vacío a una velocidad de 300 000 km por segundo). De los 400 cuatrillones de watts de energía, solo una pequeña porción se recibe en las capas superiores de la atmósfera terrestre en forma de radiación. Aun así, esta porción es muy alta. La tierra recibe del sol un poco más de mil

watts en cada centímetro cuadrado, lo que equivale a 1.98 calorías por minuto en cada centímetro cuadrado. Esta cantidad es conocida como la constante solar (Gates 1993, Landscheidt 1999). Sin embargo, esta fuente de energía no es constante, presenta oscilaciones inherentes a la misma dinámica interna del sol (tales como llamaradas o protuberancias asociadas a zonas de actividad solar, inversión de los polos magnéticos, los ciclos de las manchas solares, etc.), que aunadas a las variaciones en la cantidad de radiación que recibimos por la geometría del planeta y sus movimientos alrededor del sol, le confieren una alta variabilidad a dicha “constante solar”.

## ***MOVIMIENTO Y GEOMETRÍA DEL PLANETA***

Tres características del movimiento de la tierra en órbita alrededor del sol son las que influyen en la cantidad de radiación incidente en la tierra y su distribución latitudinal. Estas son la excentricidad, oblicuidad y precesión (Fig. 5).

Kepler (1571-1630) descubrió que la tierra gira alrededor del sol siguiendo una órbita de forma elíptica, la cual determina que en unas épocas del año la tierra se encuentre más cerca al sol (perihelio), que es cuando recibe mayor radiación, y en otras épocas más distante de este (afelio) y reciba menor radiación. Sin embargo, doscientos años después Leverrier descubrió que esta órbita gradualmente cambia de forma elíptica a una forma más circular con una periodicidad de alrededor de 100,000 años como resultado del empuje sobre la tierra por los otros planetas. Esta medida de su elipsidad se llama excentricidad (Fig. 5). Por otra parte el eje en el que la tierra gira no está en ángulo recto al plano en que se mueve alrededor del sol (la elipse), sino que está inclinado a  $23.5^\circ$  de ángulo entre el plano del ecuador y la elipse. Este ángulo varía de  $22.1^\circ$  a  $24.5^\circ$  con una periodicidad de 41,000 años, este movimiento se conoce como oblicuidad. Este cambio a su vez también afecta a la distribución latitudinal de la radiación solar que llega a la tierra (Fig. 5).

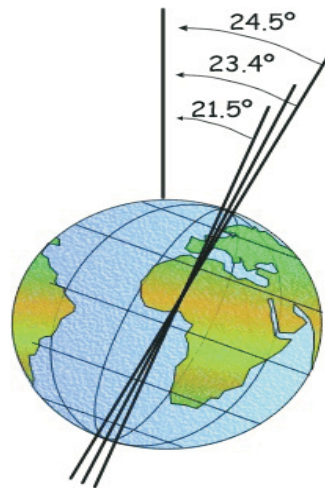
Alrededor de 125 A.C. el astrónomo griego Hipparchus descubrió que el polo norte de la tierra no siempre señala en la misma dirección entre las estrellas (las constelaciones que se ven actualmente son muy diferentes a las que se vieron hace 5,000 años). El eje polar vaga o gira lentamente con una periodicidad de 22,000 años, describiendo un cono en el espacio, movimiento llamado precesión (Fig. 5). El cono tiene un radio angular igual a la oblicuidad o de  $23.5^\circ$  en la actualidad. La causa de la precesión es el empuje del sol y la luna en el material saliente del ecuador de la tierra. La precesión afecta la posición de los equinoccios y solsticios. Actualmente el solsticio de invierno ocurre cerca del perihelio (cercano al sol). Hace 11,000 años, el solsticio de invierno ocurrió en el lado opuesto de la órbita.

La combinación de estos tres movimientos (excentricidad, oblicuidad y precesión) ha determinado en gran medida el clima pasado (hipótesis solar de Croll-Milankovitch) y explica las edades de hielo que se han presentado en la tierra (Fig. 6) y que han sido corroboradas mediante determinación de temperaturas con el isótopo de oxígeno 18 de núcleos de sedimentos extraídos del océano Índico, con capas más antiguas de 450,000 años (Cronin y Schneider 1990, Tarduno *et al.* 1998, Huber 1998).

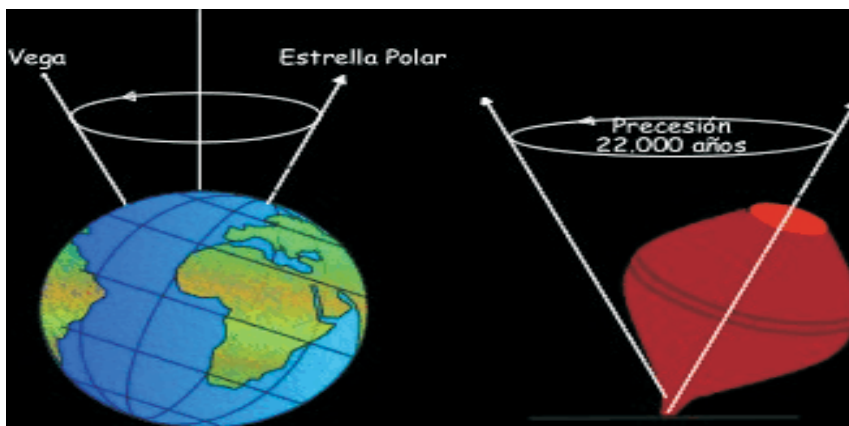




**EXCENTRICIDAD**



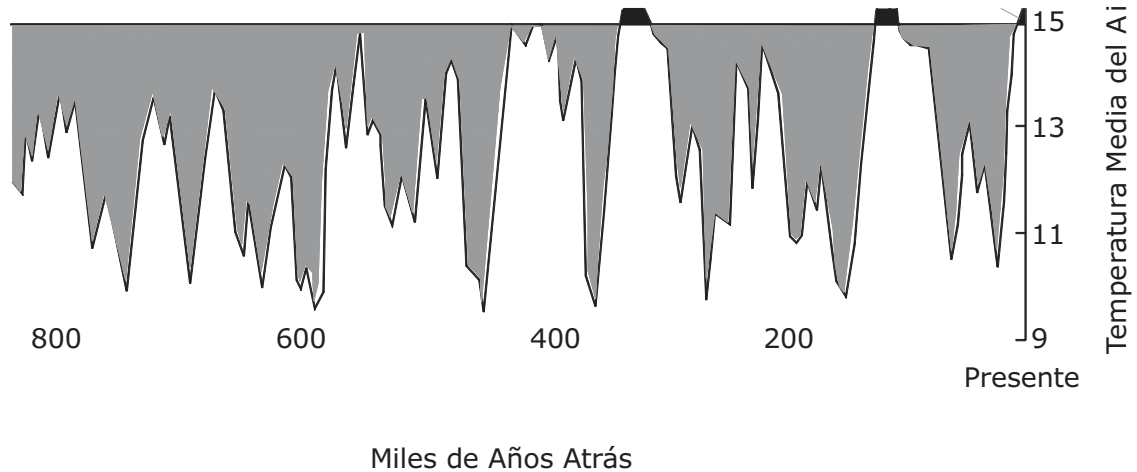
**OBLICUIDAD**



**PRECESIÓN**

**Figura 5.** Tres características del movimiento de la tierra en órbita alrededor del sol son las que influyen en la cantidad de radiación incidente en la tierra y su distribución latitudinal. Estas son la excentricidad, oblicuidad y precesión.

De acuerdo a esta figura, nos encontramos en un interglacial que por si mismo le confiere tendencia creciente a la cantidad de radiación solar recibida en la tierra y que es causante en buena medida de la tendencia creciente en la temperatura global del planeta (Fig.7) (Landscheidt 1999).



**Figura 6.** Temperatura de la tierra de los últimos 850,000 años inferida de medición de cantidad del isotópico de Oxígeno 18 de los núcleos de hielo (Tomado de Gates, 1993), donde se muestran las glaciaciones cuaternarias

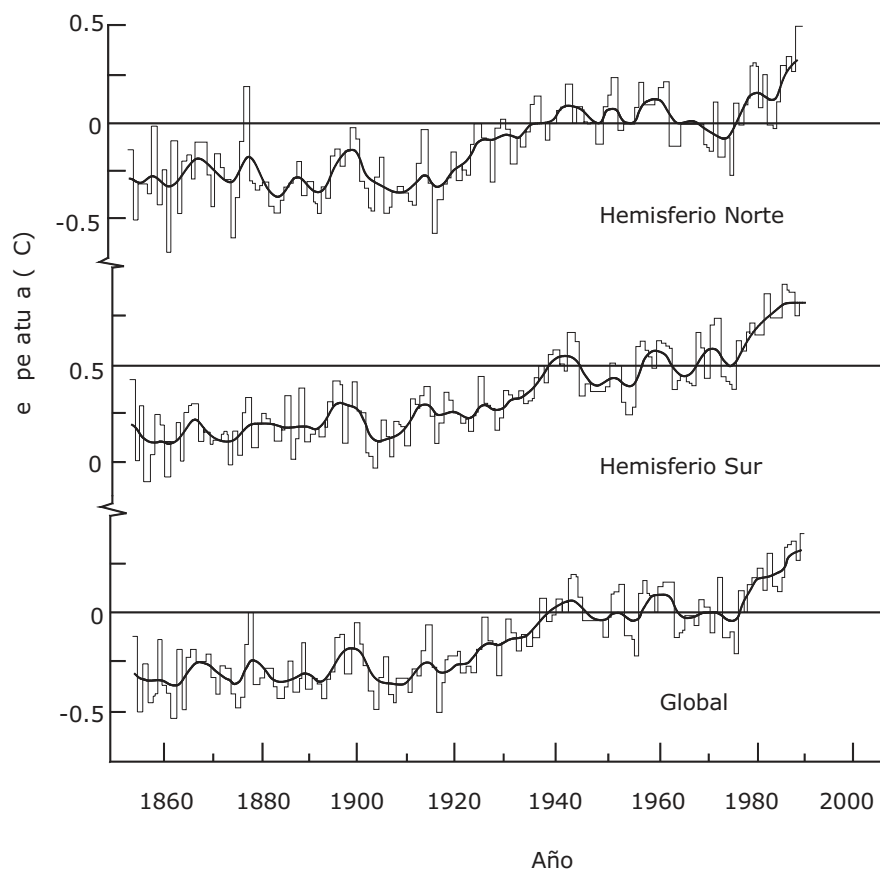
### ***MANCHAS SOLARES***

La característica más sobresaliente de una imagen de la superficie del sol son las manchas solares (Fig. 8). Algunas veces su tamaño alcanza hasta 200,000 km (17 veces el tamaño de la tierra). La temperatura en la región de las manchas es de 4,600 °C. Las manchas inician como un pequeño poro que al cabo de un día alcanza el tamaño máximo. Por mucho tiempo, los astrónomos han sabido que las manchas solares son regiones en donde se concentran los campos magnéticos. Más aún, cualquiera que haya jugado con imanes siendo un niño, ha experimentado como los campos magnéticos de la misma polaridad se repelen entre sí. De la misma manera, los fuertes campos magnéticos de las manchas solares deberían rechazarse naturalmente, provocando la rápida disipación de las manchas.

De hecho, las observaciones muestran que el material de superficie claramente fluye desde las manchas hacia fuera. Bajo cada mancha se da una interacción del campo magnético con las partículas atómicas cargadas de la materia en movimiento. Esto hace que disminuya el movimiento y se frene la materia, lo que debilita el transporte de energía de

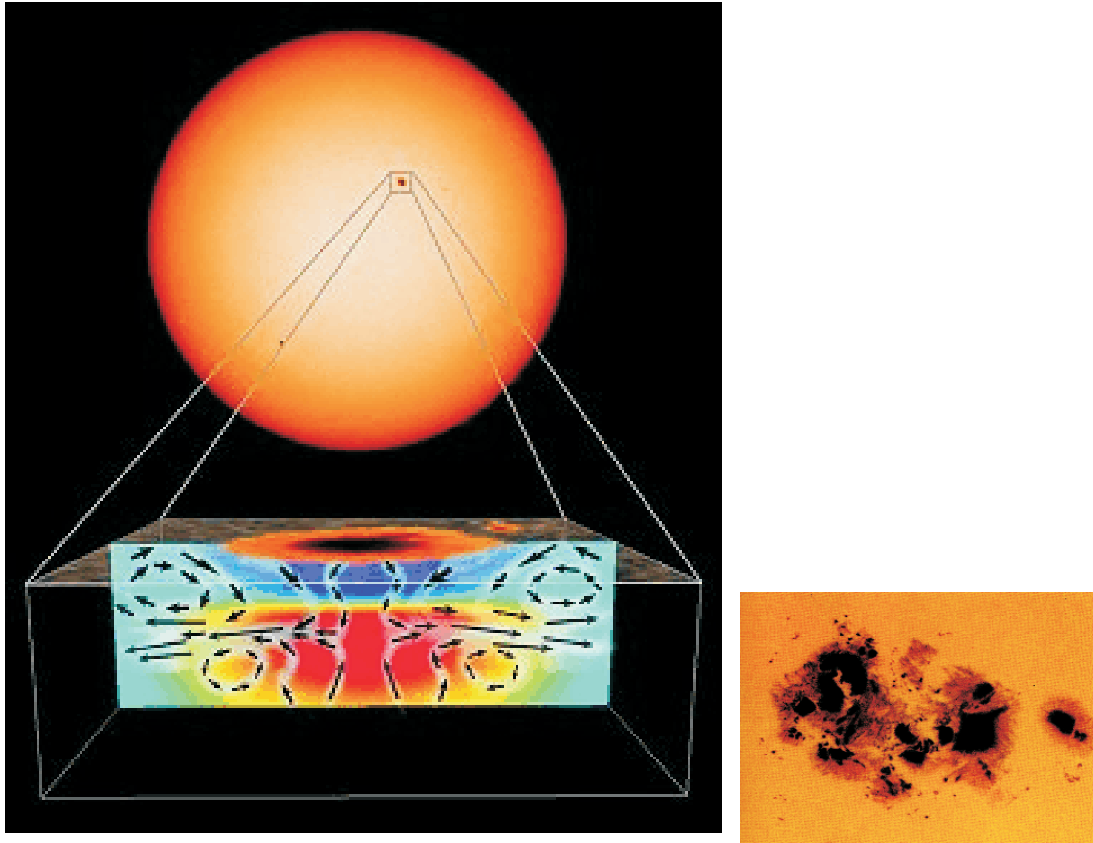
las profundidades del sol al exterior (García 1986, González 1987, Gates 1993, Landscheidt 1999).

Las manchas solares tienen un ciclo que comienza cuando aparecen en ambos hemisferios solares unas pocas manchas más lejanas al ecuador, hasta que alcanzan una cantidad máxima.



**Figura 7.** Anomalías de la temperatura promedio global del aire para regiones marinas y terrestres.

Después de esto las manchas siguen apareciendo más cercanas al ecuador, pero el número total empieza a disminuir hasta que al final del ciclo se llega a un mínimo de manchas, todas muy cercanas al ecuador; entonces empiezan a aparecer también las primeras manchas lejanas al ecuador del ciclo siguiente.

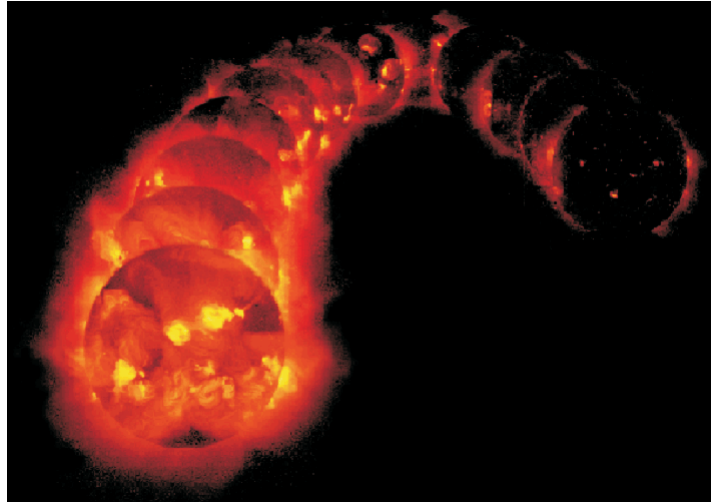


**Figura 8.** Manchas solares. Fuente: *Introducción a la Astronomía*.  
<http://mipagina.cantv.net/aquilesr/intro.htm>

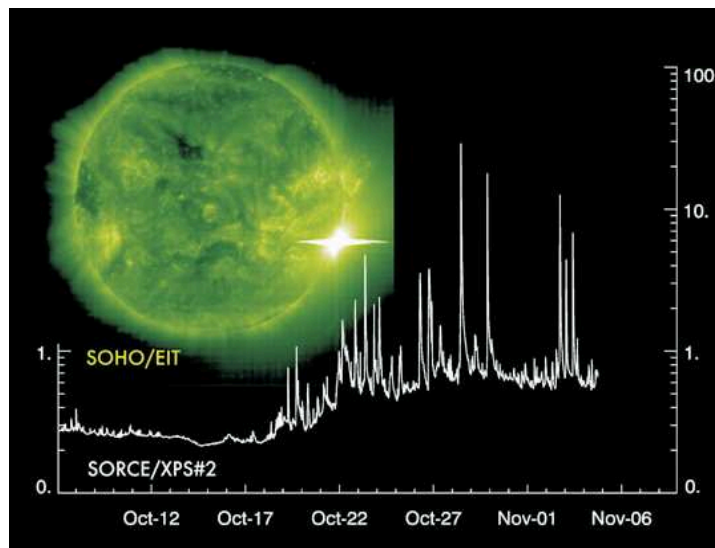
Este proceso lleva aproximadamente 11 años, pero tiene fluctuaciones entre 8 y 14 años. Cuando las manchas solares están en un máximo, la actividad solar también está en un máximo, mostrándose incrementos en el número de prominencias y llamaradas (Fig. 9 y 10), por lo tanto un incremento en la emisión de la radiación solar (Fig. 11) (Gates, 1993).

El Ciclo Solar 24, que se producirá en 2010 o 2011, "parece ser uno de los ciclos más intensos (30-50% más) que se hayan registrado, desde que estos se comenzaron a documentar hace casi 400 años y comenzaría a fines del año 2007 o principios de 2008", de acuerdo con el físico solar David Hathaway, del Centro Marshall de Vuelos Espaciales (Marshall Space Flight Center) de la NASA. Él y su colega Robert Wilson presentaron esta conclusión en el encuentro de la Unión Geofísica Americana (American Geophysical Union), realizado en San Francisco en 2006. Su pronóstico se basó en los registros históricos de las tormentas geomagnéticas.

Hathaway explica: "Cuando una ráfaga de viento solar golpea el campo magnético de la Tierra, el impacto hace que el campo magnético se sacuda. Si se sacuda mucho, la llamamos tormenta geomagnética".



**Figura 9.** Fotografía de rayos X del Sol mostrando cambios dramáticos en la corona desde 1991 hasta 1995, la parte menguante del previo ciclo de actividad solar. Esta composición utiliza imágenes tomadas por la nave Yohkoh, lanzado en Agosto de 1991 y en órbita sobre la Tierra por el Instituto del Espacio y Ciencia Astronáutica del Japón.



**Figura 10.** Cambios en el sol, registrados de octubre a noviembre del 2003. *Fuente: Solar and Heliospheric Observatory.*



En casos extremos, estas tormentas causan suspensiones en el suministro eléctrico y hacen que las agujas de las brújulas oscilen en la dirección incorrecta. Las auroras boreales son un hermoso efecto secundario de este tipo de fenómenos. Actualmente ya nos encontramos en el inicio del ciclo No. 24 (Podladchikova *et al.* 2008).

Así mismo, parece existir una modulación de largo término de la actividad solar, una periodicidad de 85 años conocida como el ciclo de Gleissberg (González 1987, Gates 1993, Landscheidt 1999). En este caso, la causa recae sobre el movimiento oscilatorio del sol alrededor del centro de masas del sistema solar. Este ciclo tiene mayor impacto en el clima, y es el responsable del mínimo de Maunder, ocurrido entre 1645 y 1715, que parece ser el causante de la pequeña edad de hielo (Fritts 1991).

Según la opinión de algunos científicos, y en contra de las ideas generalizadas sobre el calentamiento global de la tierra, nos encaminamos hacia una época de frío. El efecto se podría notar ya en este ciclo solar, el 24. En especial, a partir de 2030, entraríamos en el mínimo de Gleissberg correspondiente y el enfriamiento global sería más notorio. Estos científicos sostienen que el calentamiento debido al efecto invernadero es muy pequeño y de mucha menor influencia que los cambios en la actividad solar.

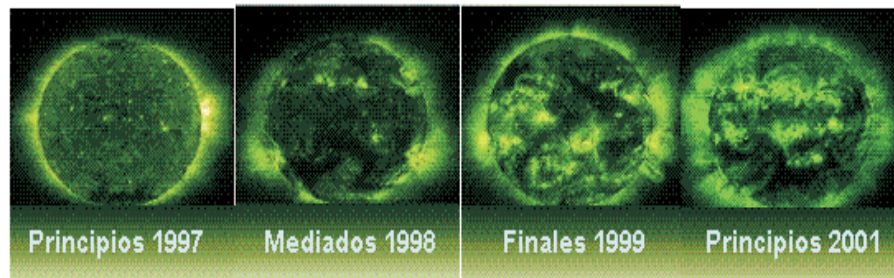
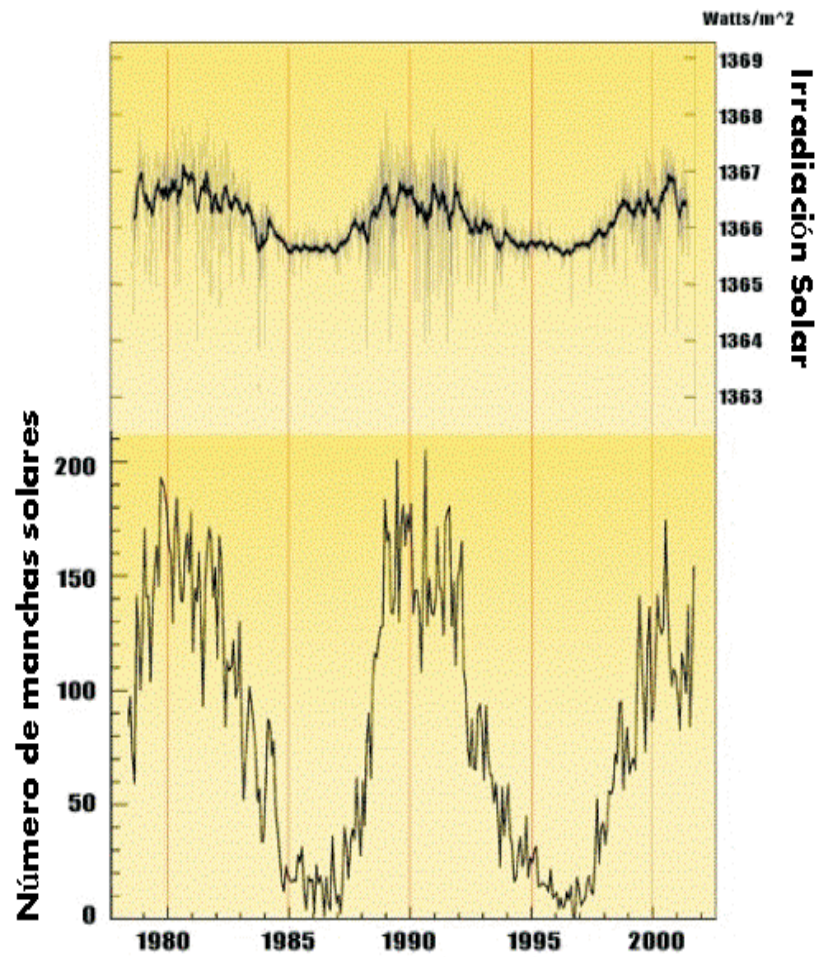
Ejemplos de cómo el clima puede ser influenciado por estos eventos astronómicos lo tenemos en el efecto que cambios en la actividad solar tienen en la circulación y temperatura de la tropósfera y estratósfera. La influencia depende de la dirección de los vientos en la estratosfera tropical, que se revierte de este a oeste y en sentido inverso cada dos años; el fenómeno conocido como la oscilación cuasi bienal (Labitzke y Van Loon 1988, Landscheidt 1999).

De los hechos presentados anteriormente, vale la pena cuestionarse sobre la supuesta constancia de la constante solar, que puede más bien ser asumida constante con fines de sobresimplificación, pero que en realidad no es constante.

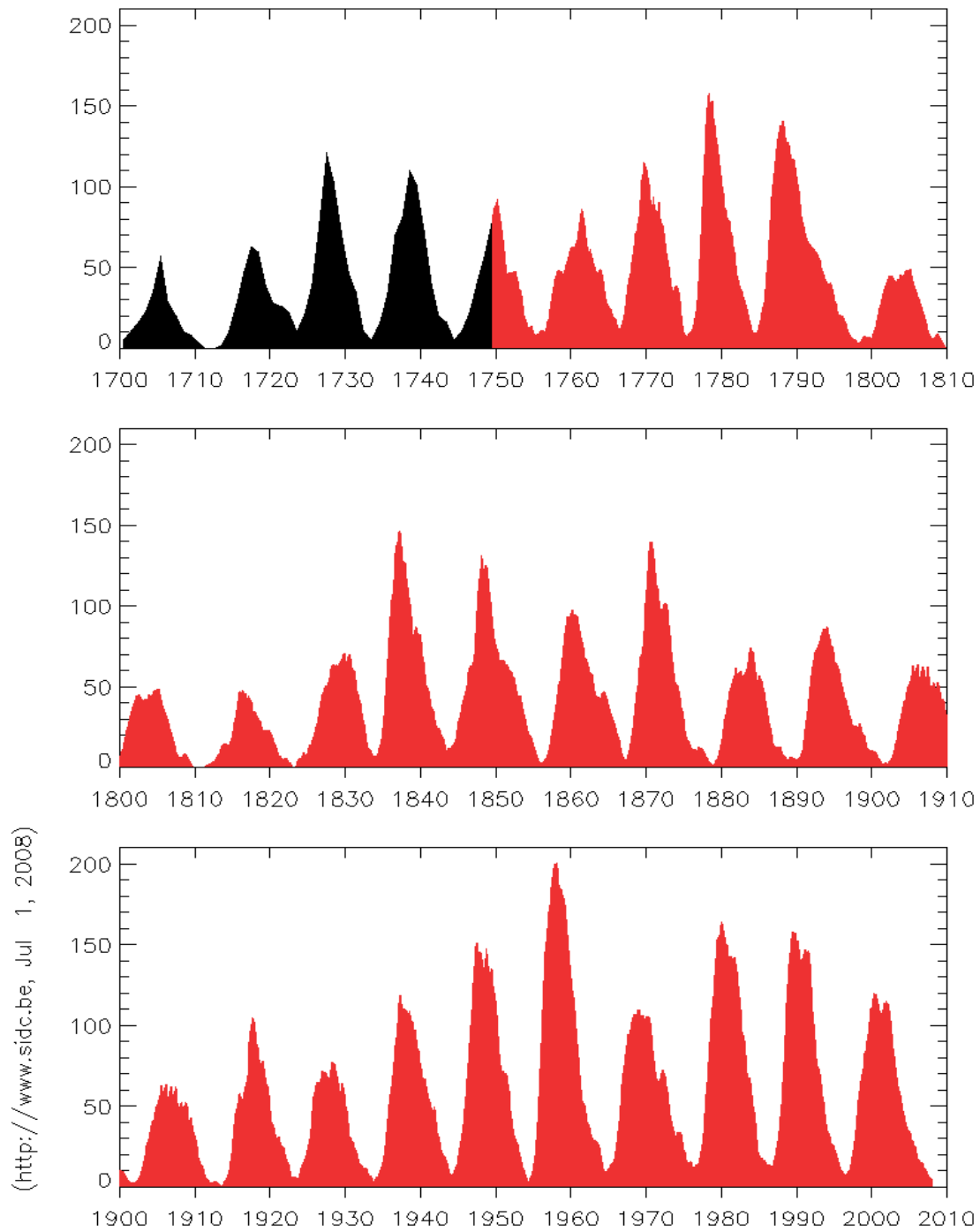
## ***LA ATMÓSFERA***

Además de los eventos anteriores, de la energía que llega a la parte superior de la atmósfera terrestre en forma de radiación ultravioleta (ondas de alta frecuencia y de alta energía), visible e infrarrojo (ondas de baja frecuencia y de baja energía), un 50% es radiado entre la ionosfera (que impide la entrada de radiación gama altamente energética) y las partículas de ozono y aerosoles en la estratosfera (Fig. 13). De la energía que si penetra al planeta, el 25% es absorbida por la superficie de la tierra, otro 25% es reflejada nuevamente a la atmósfera terrestre a una longitud de onda de 8-12  $\mu\text{m}$  (Gates 1993), el 40% se consume en evaporación del agua de los océanos (formación de nubes) y solo el 10% aproximadamente es consumido por la vegetación marina y terrestre (Fig. 14).

Sin embargo, existen unos gases llamados de invernadero ( $\text{CO}_2$ , metano, clorofluorocarbonos, óxido nítrico etc.) que atrapan las ondas en esa longitud y por lo tanto originan un incremento en la temperatura mediante el fenómeno llamado “efecto de invernadero” (Peters y Darling 1985).



**Figura 11.** Ciclo de once años de las manchas solar y su efecto en la radiación solar que llega a la atmósfera. *Fuente: NASA*



**Figura 12.** Ciclos de las manchas solares de 1700 a 2008. Fuente: *Solar Influences Data Analysis Center*. <http://sidc.oma.be/index.php>

El vapor de agua puede funcionar como gas de invernadero, actuando como un "feedback" ("feedback" son reacciones del sistema climático a cambios que en su momento afecten la tendencia de un cambio mayor) positivo en el sistema climático. De hecho es el principal gas de invernadero, explicando casi el 96% al 99% del efecto invernadero (Jaworowski 2004).

Existe una gran incertidumbre sobre el proceso de los gases de invernadero y las predicciones dependen de los supuestos sobre las tendencias futuras en el uso de combustibles fósiles, la naturaleza precisa del ciclo del carbono y las complejidades de las interacciones atmosféricas.

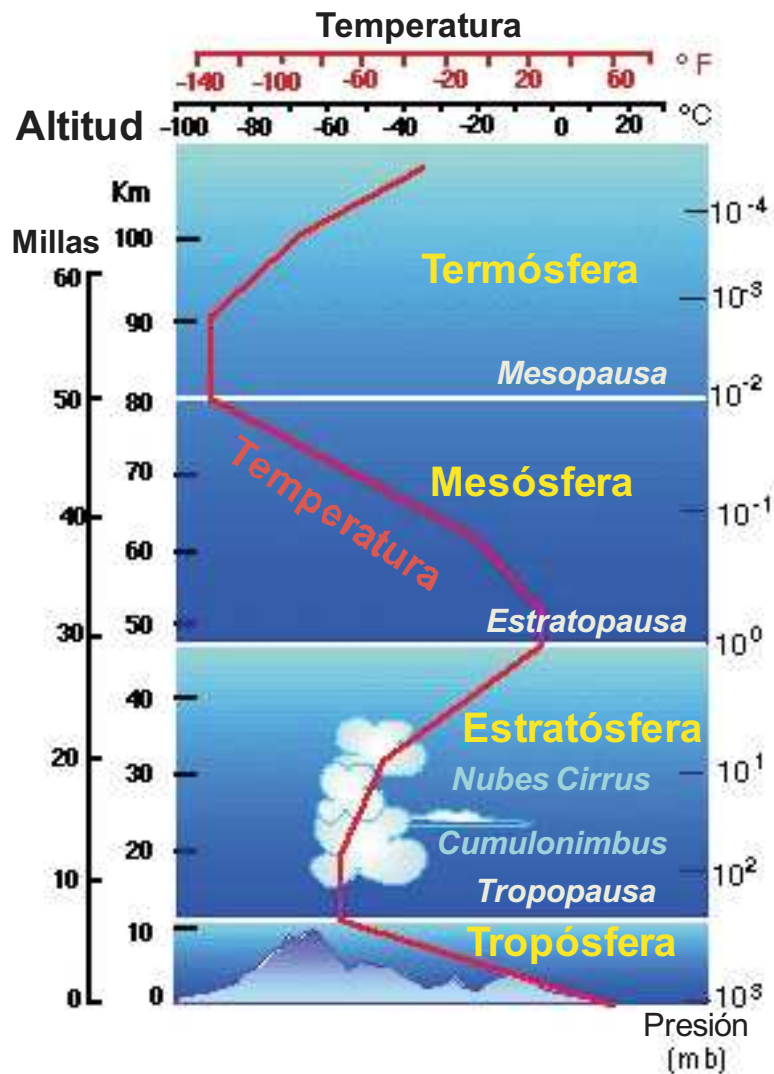
Los mejores estimados actuales sugieren que si la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera continúa incrementándose a la tasa actual (Fig. 15), entonces un incremento en la temperatura media global del aire en superficie de 0.5 °C se esperaría entre los años 2005-2010, 1.5°C entre 2015-2050 y 6.5°C en 2050-2100, con los mayores incrementos en altas latitudes (Warrick y Farmer 1990, Parry *et al.* 1990, Echarrri 1998, IPCC 2007). Durante el siglo 20 se ha incrementado la temperatura en 0.6°C (IPCC 2001, IPCC 2007). En su reciente trabajo del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC 2007), se menciona que “en conjunto, el nivel del mar aumentó en 17 cm durante el siglo XX. Esto se debe, en parte, al derretimiento de nieve y hielo en un buen número de montañas y en las regiones polares. También se han observado cambios de carácter más regional como alteraciones en las temperaturas y en el hielo del Ártico, cambios en la salinidad de los océanos, régimen de vientos, sequías, precipitaciones, frecuencia de olas de calor e intensidad de ciclones tropicales”.

Sin embargo en tiempos remotos, la concentración de CO<sub>2</sub> de la atmósfera ha sido mucho más alta que ahora, sin ningún impacto dramático sobre la temperatura. En el período Eoceno, (hacen 50 millones de años), esta concentración era 6 veces más alta que ahora, pero la temperatura era de apenas 1,5° C más alta. Durante el Período Cretáceo (90 millones de años atrás), la concentración de CO<sub>2</sub> era 7 veces más altas que hoy, y durante el Carbonífero, (340 millones de años), el CO<sub>2</sub> era casi 12 veces más abundante (Yapp y Poths, 1992). Cuando las concentraciones de CO<sub>2</sub> eran 18 veces más altas que hoy, 440 millones años atrás (durante el *Ordovícico*), los glaciares existían en los continentes de ambos hemisferios. A finales del Siglo 19, la cantidad de CO<sub>2</sub> descargada a la atmósfera por la industria mundial era 13 veces menor que hoy (Boden *et al.* 1990). Pero el clima de esa época se había calentado como resultado de causas naturales, emergiendo de una Pequeña Edad de Hielo de 500 años, que prevaleció desde el 1350 hasta el 1880, aproximadamente. Esto no fue un fenómeno regional Europeo, sino que se extendió a lo largo y ancho del mundo (Soon y Baliunas, 2003). Durante esta época la temperatura media global era de 1° C menos que ahora (Jaworowski 2004, 2007).

### ***Radiación solar por regiones***

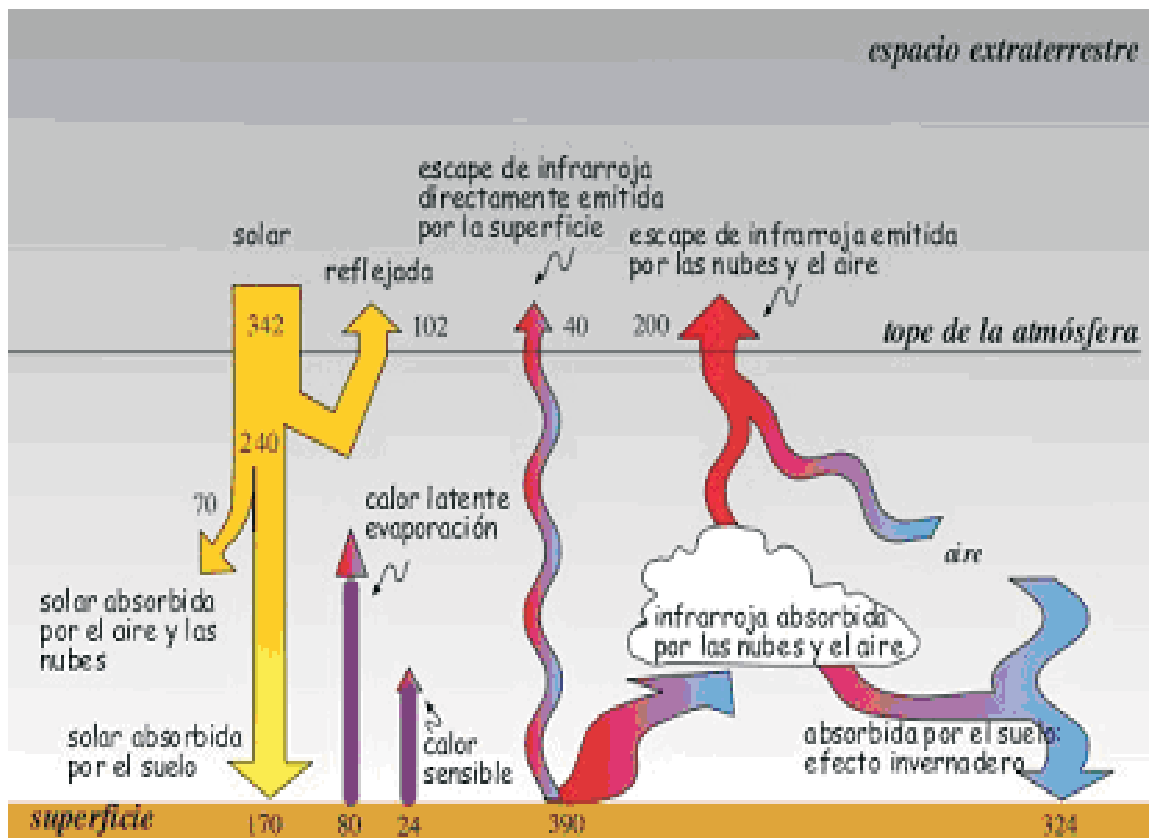
La energía recibida del sol no esta homogéneamente distribuida sobre la tierra por su misma forma: el ecuador radia energía todo el año, los polos solamente la mitad del año (Fig. 16).

Igualmente la energía que llega no es homogéneamente absorbida: los océanos, lagos, suelos húmedos y la vegetación son muy oscuros y absorben fuertemente la luz solar, mientras que la nieve blanca, el hielo y arenas secas reflejan la luz y absorben muy poca. Alguna de la energía que es absorbida es almacenada en algunos rasgos de la superficie, alguna de esta calienta el aire y el resto evapora agua de los lagos, océanos, suelos y vegetación. Los patrones atmosféricos y climas en la tierra resultan de lo desigual de estos procesos



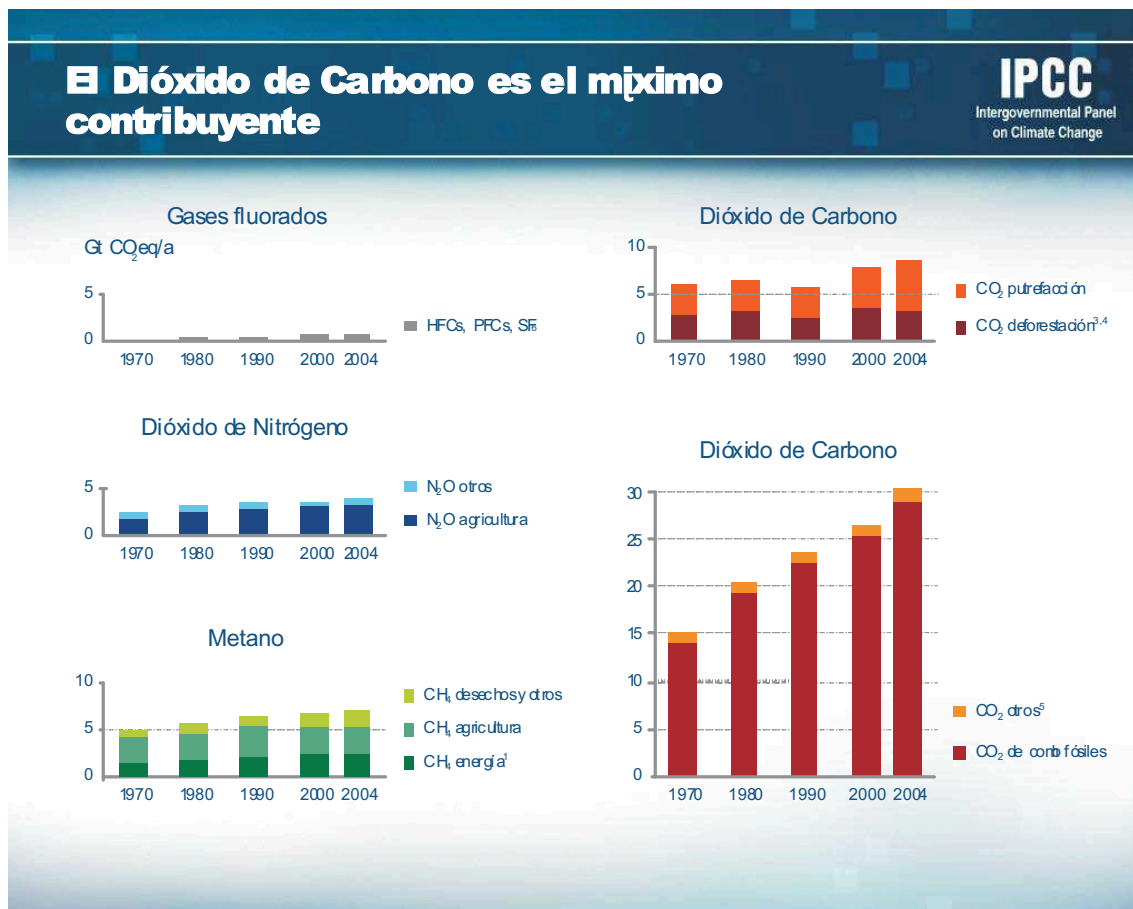
**Figura 13.** Regiones de la atmósfera terrestre, mostrando la distribución vertical de la temperatura.





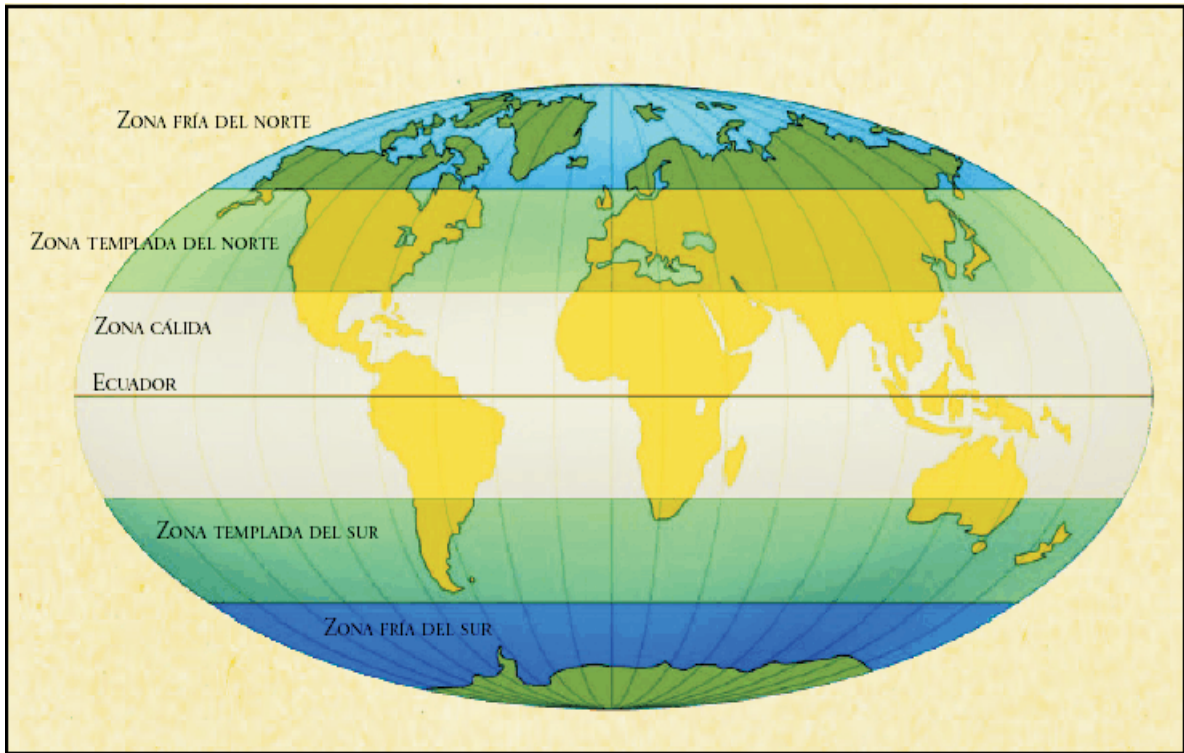
**Figura 14.** Esquema de la distribución de la radiación en el sistema tierra – atmósfera.  
Fuente: (<http://homepage.mac.com/uriarte/maprad.html>)

Prácticamente toda la energía que mueve la maquinaria atmosférica procede del sol, llegando pues, a la conclusión de que la temperatura del suelo y por ende la del aire en contacto con él, así como la del océano tiene como característica fundamental su variabilidad (Mann y Lazier 1996, Anónimo 1998, Fowler *et al.* 2003). Estas variaciones de temperatura conducen, por una especie de reacción en cadena, a variaciones de la presión atmosférica, que a su vez van a inducir variaciones en temperatura, etc. Este interjuego origina movimiento de las masas de aire (Medina 1976).

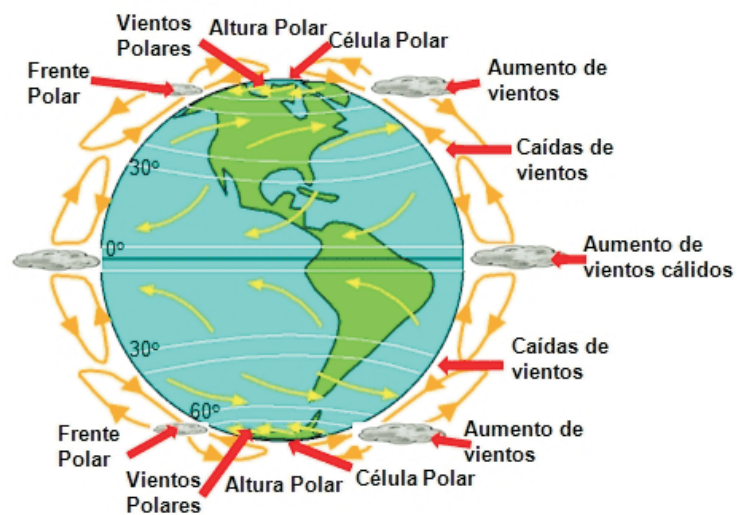


**Figura 15.** Concentración de gases de invernadero en la atmósfera terrestre. Fuente: *IPCC 2007*.

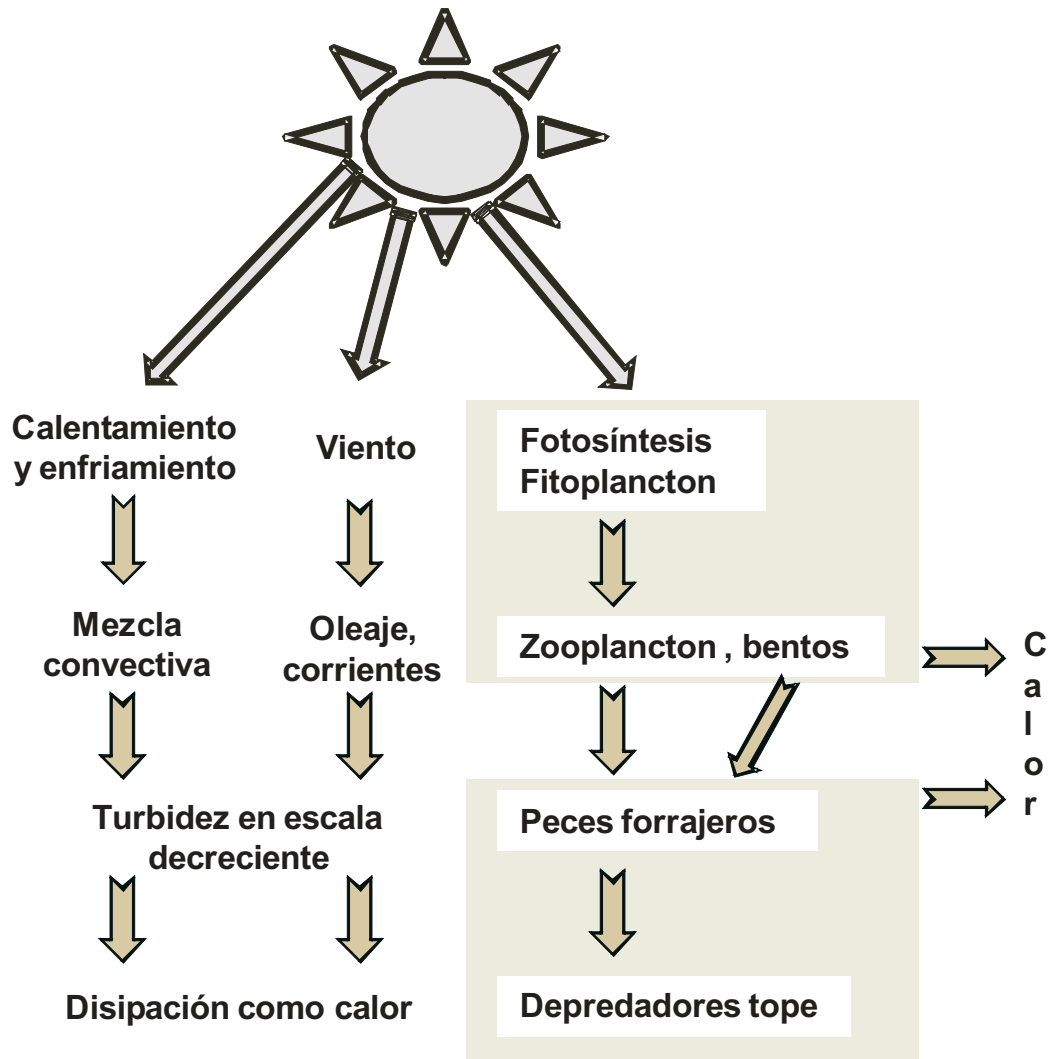
En el océano existen dos rutas en las que la energía se disipa en el océano: el físico y el biológico. La radiación solar al llegar a la superficie del océano causa calentamiento y enfriamiento, que causan estratificación y mezcla convectiva respectivamente. El calentamiento diferencial de la atmósfera origina los vientos que al soplar sobre la superficie del océano causan olas y corrientes así como mezcla en el plano vertical y horizontal. El resultado neto de toda esta energía es la turbulencia en los océanos en muchas escalas (Pares *et al.* 1997). Esta turbulencia posteriormente se disipa como calor (Fig. 18). Pero una vez atrapada en el océano afecta a su vez a otras variables altamente determinantes para los organismos marinos (Fig. 19).



**Figura 16.** La radiación solar es variable de acuerdo a las regiones del planeta, lo que origina una variedad de climas. Fuente: [www.encuentro.gov.ar/Gallery/3789.pdf](http://www.encuentro.gov.ar/Gallery/3789.pdf)



**Figura 17.** Movimiento de las masas de aire en la atmósfera terrestre.

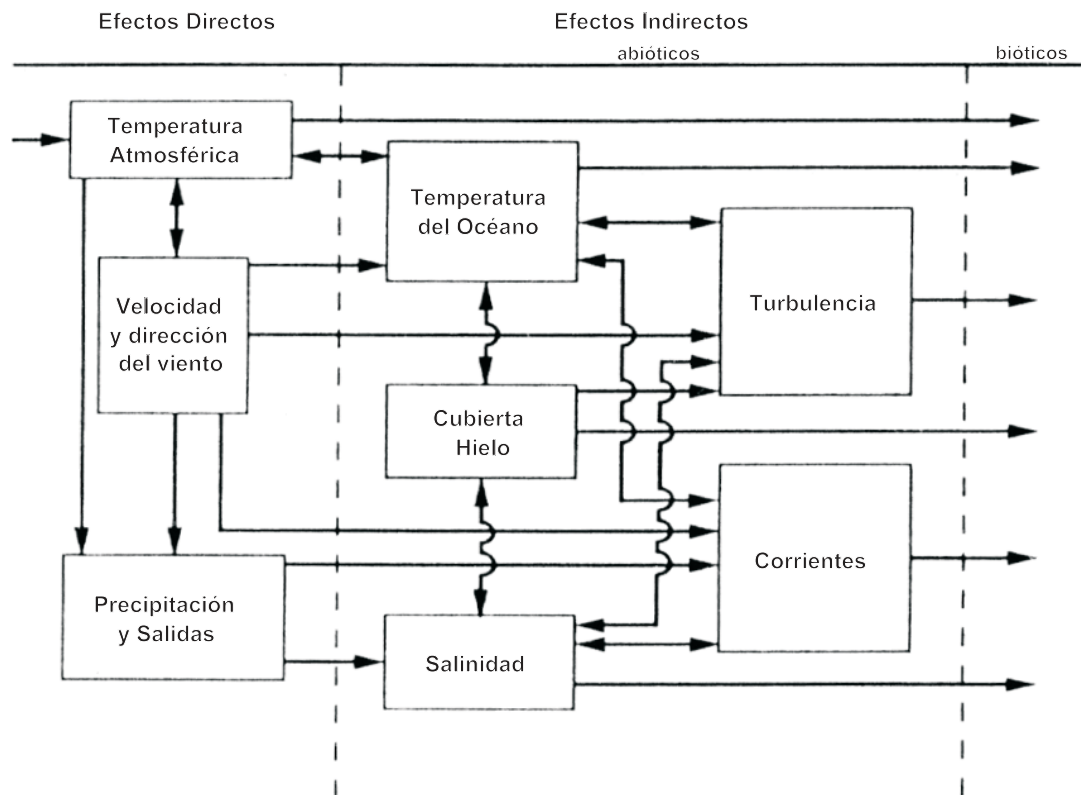


**Figura 18.** Caminos que sigue la energía solar al llegar al océano (Modificado de Mann 1992).

Por otra parte, en la ruta biológica, la energía luminosa es interceptada por los productores primarios (fitoplancton) y usada para la fotosíntesis (Mann 1992).

Una proporción se convierte en calor mediante la respiración y la energía atrapada en la fotosíntesis pasa a través de los sucesivos niveles tróficos, en los que parte de la energía es usada para mantenimiento (metabolismo basal), para procesos de conservación de las especies (crecimiento, reproducción, etc.) y parte es pérdida por respiración.

Estas dos rutas de disipación de la energía están íntimamente interrelacionadas, influyendo la primera en el funcionamiento de la segunda en forma determinante. Todos estos procesos físicos son altamente variables, tanto en escalas espaciales como temporales y es en ese medio en donde los organismos, las poblaciones, las comunidades en su conjunto, se encuentran inmersas teniendo por lo tanto que desarrollar estructuras y formas que les permitan no solamente sobrevivir, sino además sacar provecho de esa diversidad de ambientes.



**Figura 19.** Efectos de la energía solar en diversas variables atmosféricas y su interacción con el océano (Tomado de Hofmann y Powell 1998).

## 2. ESCALAS, PATRONES Y PROCESOS

En general, cuando intentamos clasificar las diferentes fuentes de variación, debemos entender previamente tres conceptos: escalas, patrones y procesos.

Un *proceso* es cualquier mecanismo físico o bioquímico que contribuye al desarrollo de la dinámica física o bioquímica del sistema bajo estudio. Por ejemplo, el proceso



biogeoquímico de producción primaria modifica la biomasa local del fitoplancton, la concentración de nutrientes y la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Con respecto al medio ambiente físico, un proceso físico es cualquier mecanismo que contribuye a dar forma a los campos (distribuciones espaciales) de densidad, velocidad, etc. El océano está inmerso en un amplio espectro de escalas espacio-temporales y los procesos de forzamiento físico pueden ser clasificados y ordenados en las magnitudes de estas escalas (Platt y Sathyendranath 1992, Pares *et al.* 1997, Lavin *et al.* 1997).

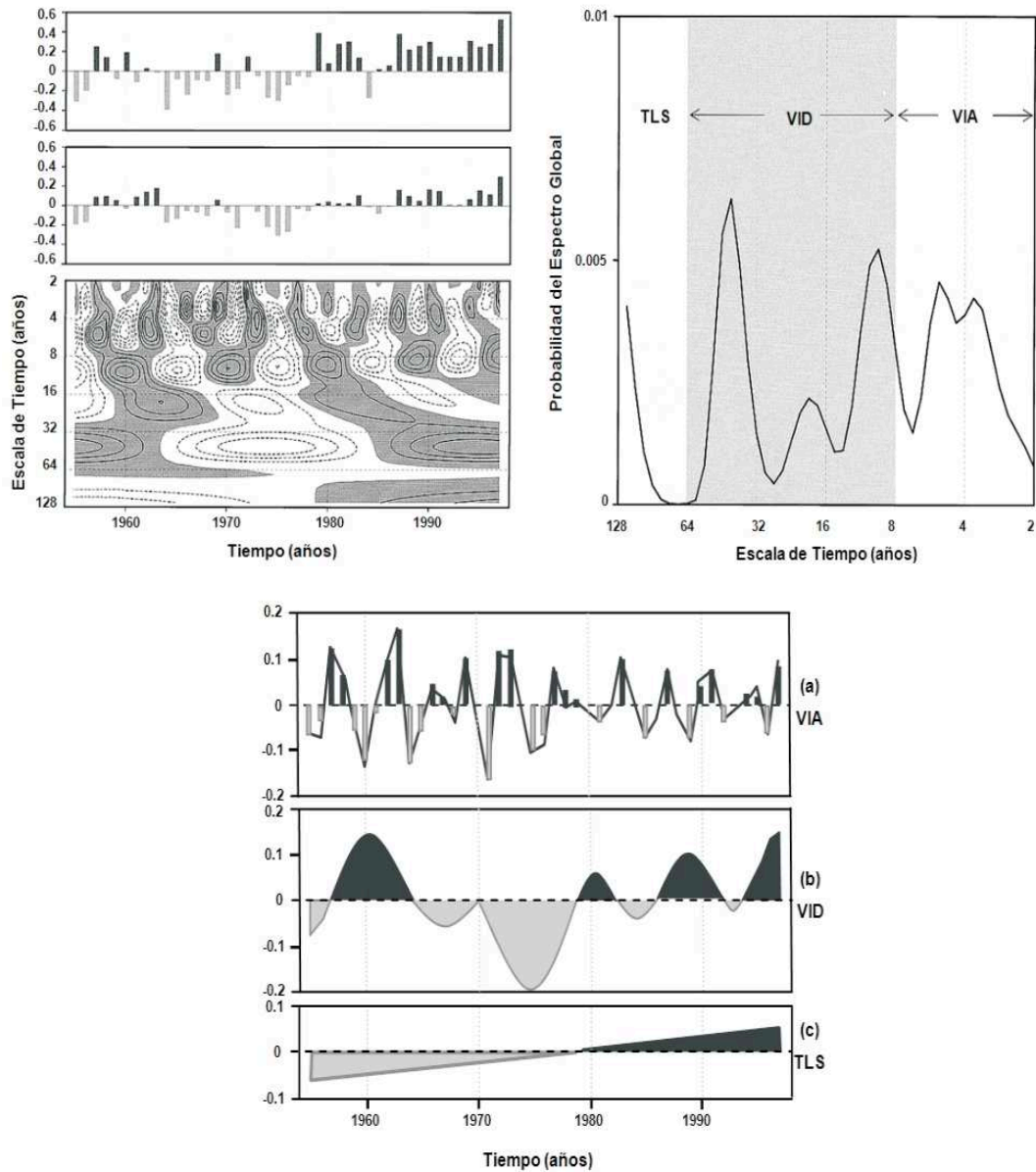
Debido a que los procesos biogeoquímicos están sujetos a forzamiento físico y debido a que éstos tienen escalas de tiempo intrínsecas, es más probable que algunos procesos físicos influyan más que otros, dependiendo de la compatibilidad de las escalas de tiempo. En otras palabras, el empate en escalas de tiempo características puede conducir a resonancia en ciertas circunstancias, ayudando a incrementar la potencia de la respuesta.

La palabra *patrón* por otra parte, implica un arreglo repetible en la distribución espacial de propiedades (Bakun 1996). Es lo contrario de aleatoriedad que es la principal característica de los procesos turbulentos. Repetible significa que el arreglo es cuasi-permanente o que puede presentarse en una manera predecible. Por *escala* se entiende la magnitud característica, tanto en espacio como en tiempo, de un patrón o proceso particular (Platt y Sathyendranath 1992).

En el océano, las escalas temporales y espaciales están ligadas, por lo tanto los procesos que actúan en una cierta escala de tiempo implican una asociación con una escala en espacio. Para propiedades físicas tales como la temperatura, las mediciones pueden ser hechas con facilidad y la suficiente frecuencia para poder tener series de tiempo lo suficientemente largas que permitan mediante diversas técnicas tales como análisis espectrales descomponer las diversas escalas. De esta manera, las escalas de variación se pueden asociar a procesos que originaron ese patrón (Cury 1991, Platt y Sathyendranath 1992).

Como ejemplo del empate en escalas de diversos procesos que conducen a un patrón podemos ver la temperatura media anual de la superficie del mar en el mundo entre las latitudes 60° Norte y 40° Sur, la cual está respondiendo a forzamiento físico en escalas interanuales (1-8 años), decadales e interdecadales (10-60 años), ambos actualmente en fase ascendente de un ciclo, además de estar presentando la tendencia de calentamiento global (Lau y Weng 1999), dando como resultado que el evento El Niño 1997-1998 haya alcanzado una gran magnitud (Fig. 20).

Por lo tanto, los procesos físicos afectan a los procesos biogeoquímicos que son capaces de influenciar en escalas dependientes de las características de ambos procesos. Este forzamiento da origen a patrones en la distribución de las propiedades de los ecosistemas y en sus tasas características de cambio (Cury 1991, Platt y Sathyendranath 1992).



**Figura 20.** Anomalías de temperatura media anual en aire (GMT) y en superficie del mar (GMSST), así como la contribución relativa de cada una de las diversas escalas de variación en tiempo y su reconstrucción: (IAV) variación interanual, (DIV) variación interdecadal, (LTR) tendencia de la serie (*Tomado de Lau y Weng 1999*).

### 3. ESCALAS DE VARIABILIDAD

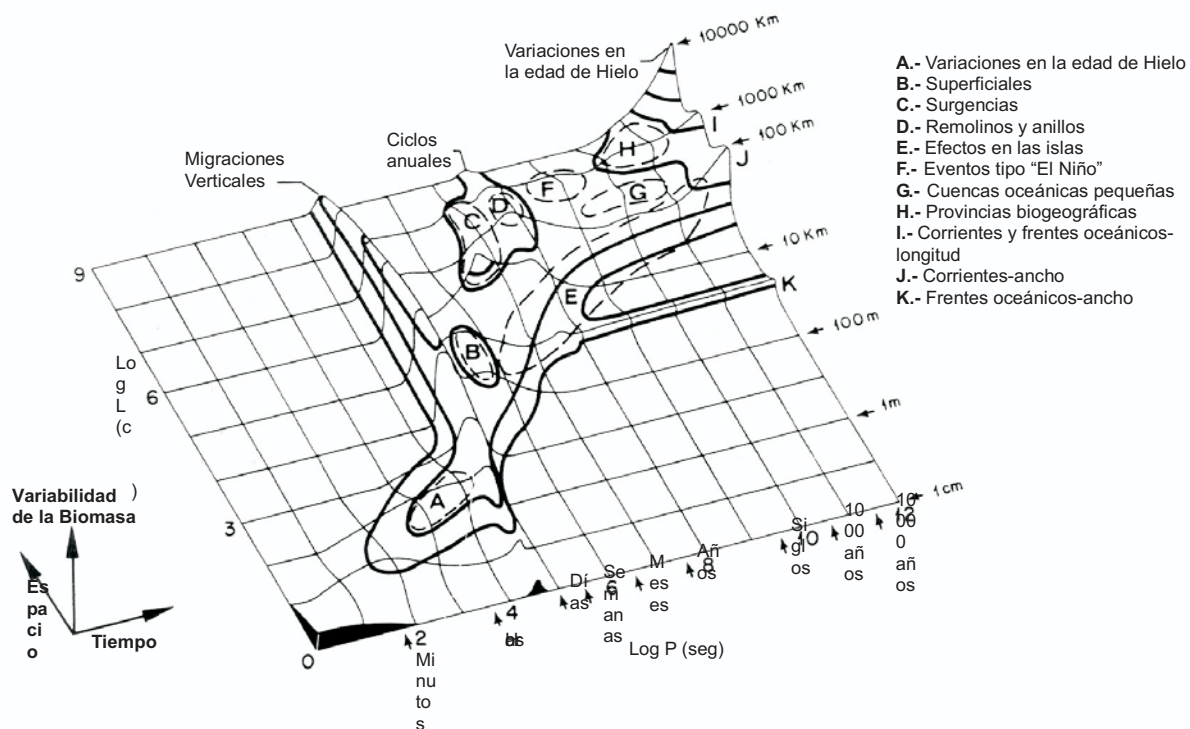
Existe una serie de intentos de agrupar la variabilidad en espacio y tiempo de los procesos que ocurren en la atmósfera y el océano en escalas mas o menos manejables por los investigadores (Stommel 1963, Smith 1978, Walsh 1978, Laevastu y Hayes 1981, Cury 1991, Lluch-Belda *et al.* 1992, Mann 1992, Greenland 1997, Parrish 1997, Pares *et al.* 1997, Lavin *et al.* 1997, Hofmann y Powell 1998, Anónimo 1998, Lau y Weng 1999). Sin embargo, debido a que tanto el espacio como el tiempo son variables continuas y que cada variable física esta definida por un conjunto de procesos que se traslapan en tiempo y espacio, las escalas de variación planteadas por los diversos autores son muy heterogéneas y más bien obedecen al fenómeno que se está interesado en representar.

Uno de los primeros intentos de usar técnicas espectrales para ayudar en la interpretación de la variación espacio-temporal de los procesos que ocurren en el océano fue efectuado por Stommel (1963), quien presentó mediante un diagrama tridimensional la distribución espectral de variables físicas tales como nivel del mar y velocidades en el océano profundo, graficadas como una función de las escalas logarítmicas de espacio y tiempo. El eje vertical fue usado para representar la cantidad de fluctuación de la variable física dentro de un cierto rango de periodo y longitud de onda con cada evento responsable de dicha variación (marea, turbulencia geostrófica, etc.).

Este diagrama posteriormente fue retomado por Haury *et al.* (1977) para tratar de explicar la respuesta de los organismos al ambiente, en particular la distribución de la biomasa del plancton (Fig. 21). Otra forma de representar las diversas escalas que afectan a cada evento es el uso de diagramas X-Y como los planteados por Cury (1991) para los componentes de un sistema pelágico (Fig. 22) y Hofmann y Powell (1998) para el movimiento (Fig. 23).

Todas éstas representaciones diagramáticas resaltan el hecho de la linealidad de la relación entre la magnitud de la variación en el tiempo respecto al espacio que afecta un proceso dado (McGowan 1990), o lo que es lo mismo, eventos de baja frecuencia en tiempo afectan espacios mayores (eventos tipo El Niño), mientras que eventos de alta frecuencia afectan espacios menores (eventos tipo remolinos).

Otros autores (Laevastu y Hayes 1981, Mann 1992, Parrish 1997) han optado por clasificar en rangos de espacio y tiempo las diversas escalas mediante tablas, que tienen la desventaja de cortar en tamaños discretos variables que son continuas, por lo tanto se debe remarcar el hecho de que las diversas escalas se traslapan en sus límites.



**Figura 21.** Diagrama espectral de las diversas escalas de variación en espacio y tiempo de los procesos que afectan la distribución de la biomasa del plancton (Tomado de Haury *et al.* 1977).

## ESCALAS TEMPORALES

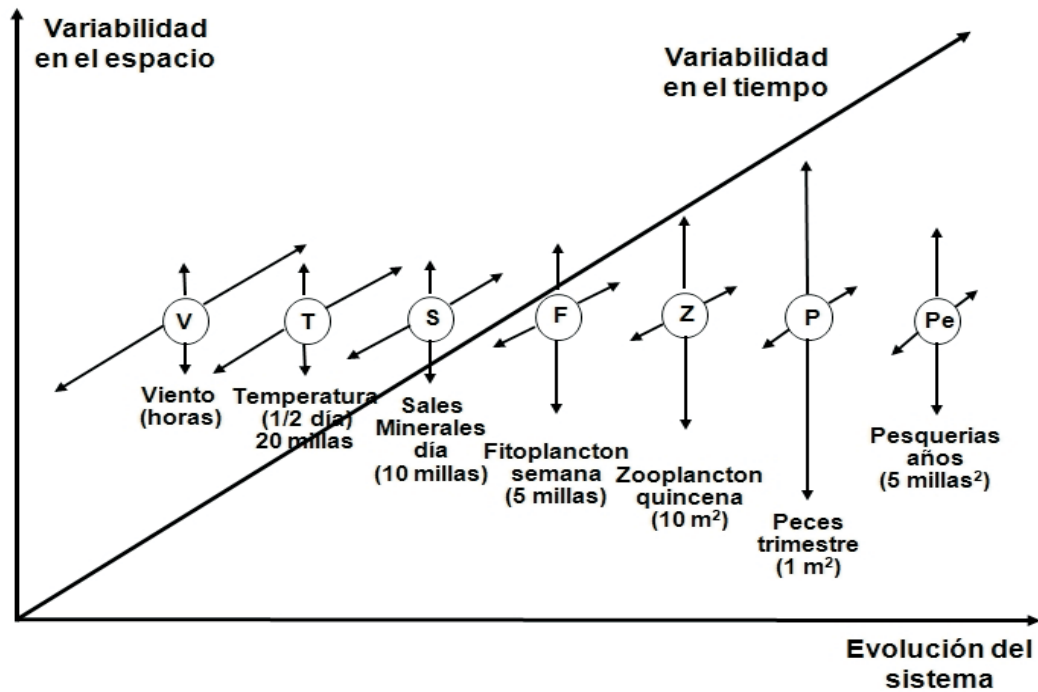
La Tabla I muestra la clasificación de las diversas escalas de variación temporal propuesta por Parrish (1997).

En general las escalas más comunes en que se clasifican los procesos son las siguientes:

### a) *Climática o de evento*

Eventos medioambientales que ocurren en escala de horas a días (Stommel 1963, Laevastu y Hayes 1981, Mann 1992, Pares *et al.* 1997), tales como tormentas, remolinos y chorros. Eventos de esta escala tienen efectos limitados en los organismos adultos y están más asociados con comportamiento y cambios de distribución. Sin embargo para los

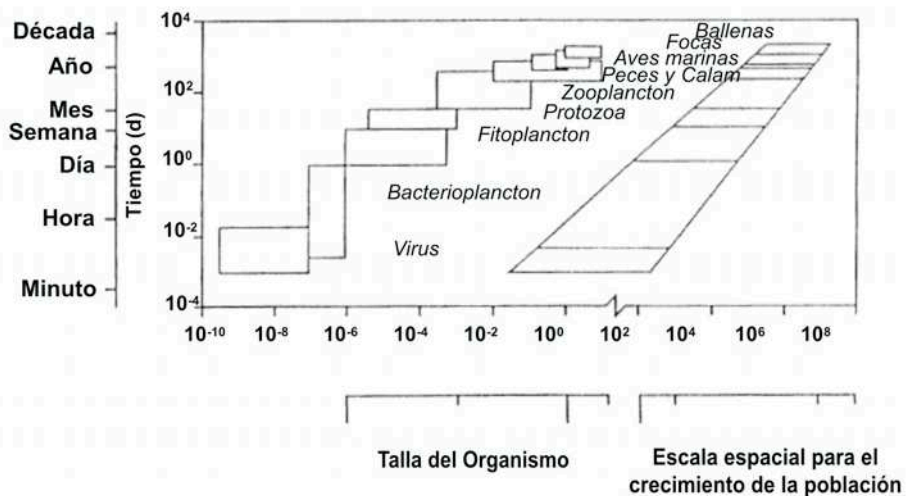
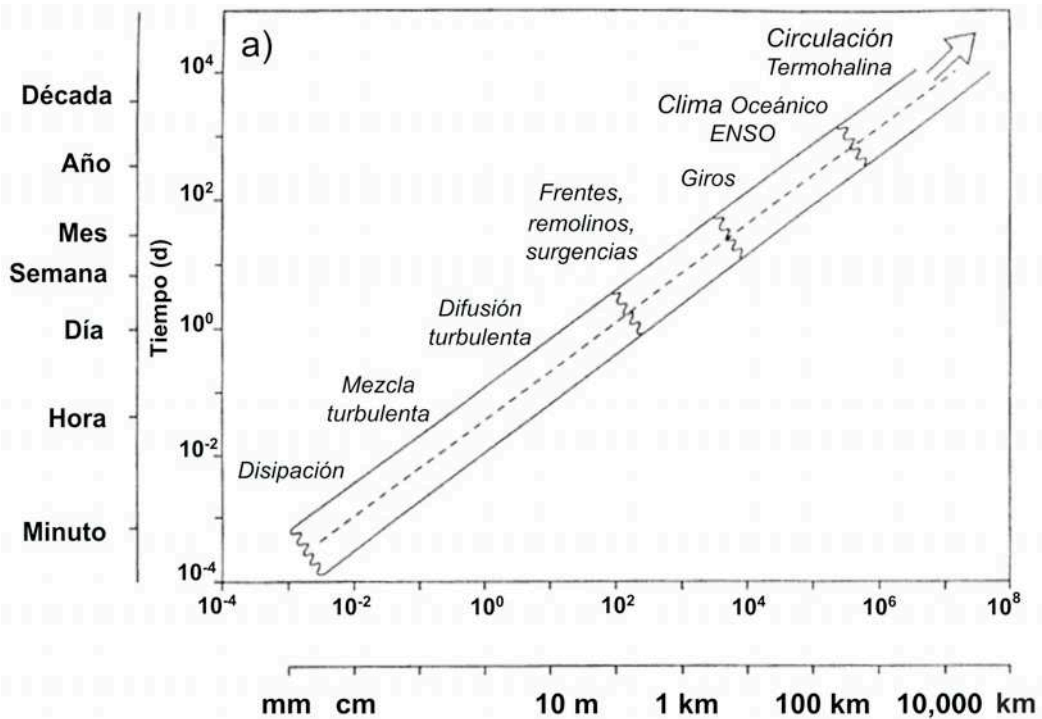
componentes del plancton y en los estadios tempranos de la historia de vida de los organismos una tormenta puede tener efectos muy importantes y de hecho uno de los mayores paradigmas en pesquerías “el paradigma del reclutamiento” (Myers y Barrowman 1996, Gilbert 1997, Myers 1997, Francis 1997, Hilborn 1997) se basa en factores que ocurren en esta escala de tiempo (Hjort 1914, Cushing 1975, Lasker 1975, Parrish 1997).



**Figura 22.** Representación diagramática para los componentes de un sistema pelágico. (Modificado de Cury 1991)

Eventos climáticos en escala de días y que afectan de mesoescala a escalas regionales tales como las ondas internas generadas por tormentas tropicales (Merrefield y Winant 1989), pueden afectar la estabilidad de la columna de agua y por lo tanto la formación de parches de plancton, lo cual a su vez repercutiría en la disponibilidad alimenticia para estadios larvarios de peces tales como los pelágicos menores (Lasker 1975, 1978, Rothschild y Osborn 1988).

Igualmente eventos de esta escala afectan el transporte larval y por lo tanto la fuerza de las clases anuales (Hjort 1914, Parrish *et al.* 1981, Sinclair 1988, Bakun 1994).



**Figura 23.** Representación de Hofmann y Powell (1998) para el movimiento y las escalas tempo-espaciales que afectan a los organismos dependientes de su tamaño.



**Tabla I.** Clasificación de escalas de variación en tiempo, los principales procesos forzantes en esas escalas y la respuesta biológica de los organismos (Parrish 1997)

<b>Tipo</b>	<b>Periodo</b>	<b>Factores medioambientales</b>	<b>Respuestas biológicas</b>
Clima	1-5 días	Tormentas, pleamares	Comportamiento, distribución, efectos en la historia de vida temprana
Estacional	2 - 3 meses	Mezcla turbulenta de invierno, transporte fuera de la costa, temperatura de la temporada de desove, bloom de primavera	Crecimiento, reserva de energía, desoves, deriva larval, éxito reproductivo
Interanual	1-2 años	Fenómeno El Niño	Crecimiento, reclutamiento, distribución
Régimen	5-30 años	Cambios en la circulación oceánica	Cambios en la capacidad de carga, efectos de sobreexplotación
Geológica	1 0 0 o más años	Erosión y sedimentación, cambios en el nivel del mar, movimiento de placas	Extinción y evolución

Las respuestas biológicas a procesos que ocurren en esta escala y la escala estacional y que afectan espacios de mesoescala a regional son unas de las más estudiadas debido a que mucho del trabajo sobre teoría de reclutamiento se ha realizado concentrándose en los estadios tempranos de vida de los organismos (Anderson 1988, Parrish 1997), donde las tasas de mortalidad están al máximo. Sin embargo, el reclutamiento no solo se define en las fases tempranas de la vida de los organismos, ya que es igualmente crítico que los organismos sobrevivan los estadios de juveniles y preadultos.

### ***b) Estacional***

Son eventos que ocurren sobre un periodo de varios meses. Los factores medioambientales que operan en esta escala de tiempo son bastante amplios e incluyen transporte, surgencia de nutrientes, mezcla turbulenta de invierno, temperaturas en periodo de desove, formación de "eddies", etc.

A esta fase corresponde la fluctuación del clima a escala mensual. La determinación del ciclo anual de los elementos climáticos es una fase fundamental dentro de la variabilidad climática a este nivel. En latitudes medias, las secuencia de las estaciones de invierno,

primavera, verano y otoño es algo común para los habitantes de dichas regiones, en tanto que en latitudes tropicales, lo frecuente es la alternancia de temporadas lluviosas y temporadas secas. La planeación de las actividades, particularmente las extractivas, depende del conocimiento de este tipo de secuencia periódica. La migración de la Zona de Confluencia Intertropical - ZCIT, es considerada como una de las más importantes fluctuaciones climáticas de la escala estacional.

Las respuestas biológicas en esta escala de tiempo incluyen variaciones en crecimiento (Anderson 1988, Pritchler y Hart 1982, Van Winkle *et al.* 1997, Sato 1999), distribución (Pritchler y Hart 1982), desarrollo de reservas energéticas (Lam, 1983), desoves y éxitos reproductivos (Lam, 1983, McCleave *et al.* 1984, Cury y Roy 1989, Bakun 1994, Van Winkle *et al.* 1997, Sato 1999).

En esta escala y la escala de evento o climática se llevan a cabo tres clases de procesos que ha sido identificado que en conjunto determinan los hábitats reproductivos favorables para diversas especies de organismos, entre ellas los pelágicos menores: los procesos de enriquecimiento (surgencias, mezcla, etc.), concentración (formación de frentes, estabilidad de la columna de agua, etc.) y retención (circulación, transporte fuera de la costa). A este conjunto de clases de procesos se le ha llamado “la triada fundamental” (Bakun 1994).

Además de la importancia biológica anteriormente mencionada y por la cual se han realizado muchas investigaciones, esta escala incluye respuesta de los organismos en desoves, los que han sido durante mucho tiempo unos de los procesos biológicos utilizados para la definición de vedas para la regulación de las pesquerías.

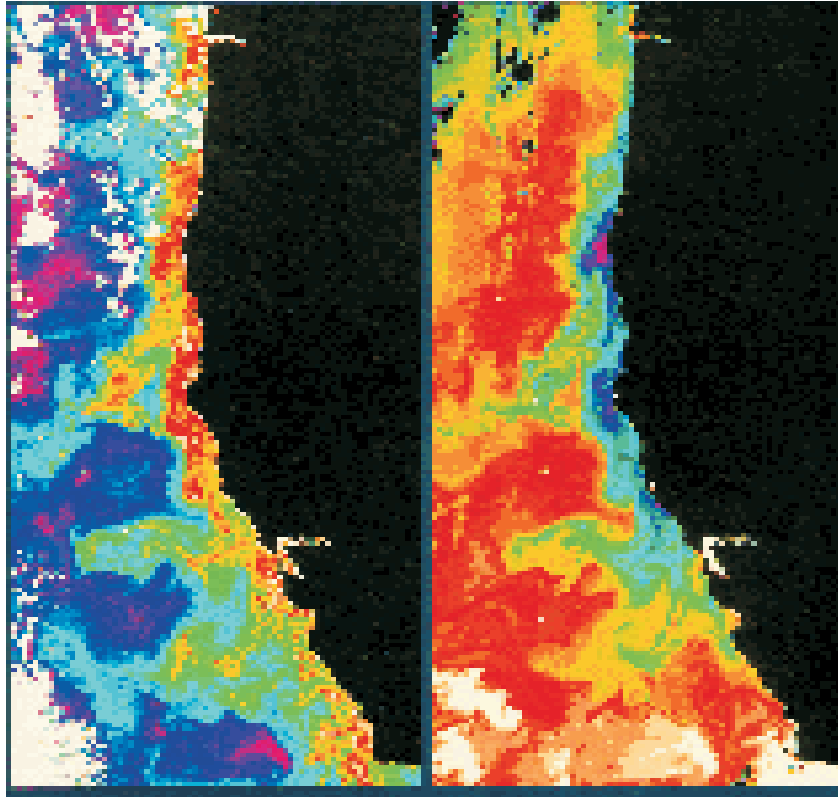
### ***c) Interanual***

Los procesos que operan en ésta escala son similares a los asociados a los procesos estacionales. La diferencia esta en que los procesos estacionales pueden ser el resultado de eventos de escala espacial más regional, mientras que los interanuales están más ligados a procesos medioambientales que operan en escalas espaciales mayores (por ejemplo, el ciclo El Niño- La Niña - Oscilación del Sur).

A esta escala corresponden las variaciones que se presentan en las variables climatológicas de año en año. Normalmente percibimos que la precipitación de la estación lluviosa en un determinado lugar, no siempre es la misma de un año a otro, sino que fluctúa por encima o por debajo de lo normal. La variabilidad climática, enmarcada dentro de esta escala, podría estar relacionada con alteraciones en el balance global de radiación. Otras fluctuaciones de las variables climáticas en la escala interanual podrían estar asociadas con la Oscilación Cuasibienal, la cual corresponde a una oscilación de largo plazo en la dirección del viento zonal de la baja y media estratosfera ecuatorial, con un período irregular que varía entre 20 y 35 meses. En cada lapso se alternan los vientos de componente Este con los del Oeste (Acosta Posada y Enríquez Daza 2008).

A nivel interanual las respuestas de las poblaciones naturales son de naturaleza muy variada e incluyen cambios en el crecimiento, el reclutamiento, la mortalidad, la disponibilidad a la flota, etc. (Francis y Bailey 1983). Frecuentemente en manejo pesquero

se trabaja con la escala estacional, pero son raros los trabajos que se efectúan con escala interanual, si bien cada vez más frecuentes, debido al hecho de que se ha observado que las poblaciones en diversas partes del mundo cambian sincrónicamente (Wooster 1997).



**Figura 24.** Procesos en escala estacional como las surgencias y las termoclinas estacionales mantienen niveles altos de producción primaria.

El estudio de la variabilidad del clima y la vigilancia global del sistema océano-atmósfera ha conducido al descubrimiento de otras perturbaciones del sistema climático global. Las más recientes se han denominado Onda Circumpolar Antártica y Dipolo del Océano Indico. Estas perturbaciones son cambios del estado medio del clima que ocurren cada 3-7 años o después de varias décadas (Ribbe 2001).

#### ***d) Régimen***

Los procesos medioambientales en escala de régimen están más asociados con cambios de gran escala en la circulación oceánica, surgencias y mezcla vertical. En esta escala se manifiestan fluctuaciones del clima a nivel de décadas. Comparativamente con la

variabilidad interanual, la amplitud de estas oscilaciones es menor. Ésta es una de las razones por las cuales este tipo de variabilidad pasa desapercibida para el común de la gente. No obstante, estas oscilaciones de largo plazo están influyendo notablemente en las actividades de la sociedad en ciclos interdecadales y resultan muy importantes en la determinación de posibles tendencias en las variables climáticas. Como ejemplo, la denominada circulación termohalina del océano es la que impacta activamente sobre el ciclo y balance del carbono en la Tierra.

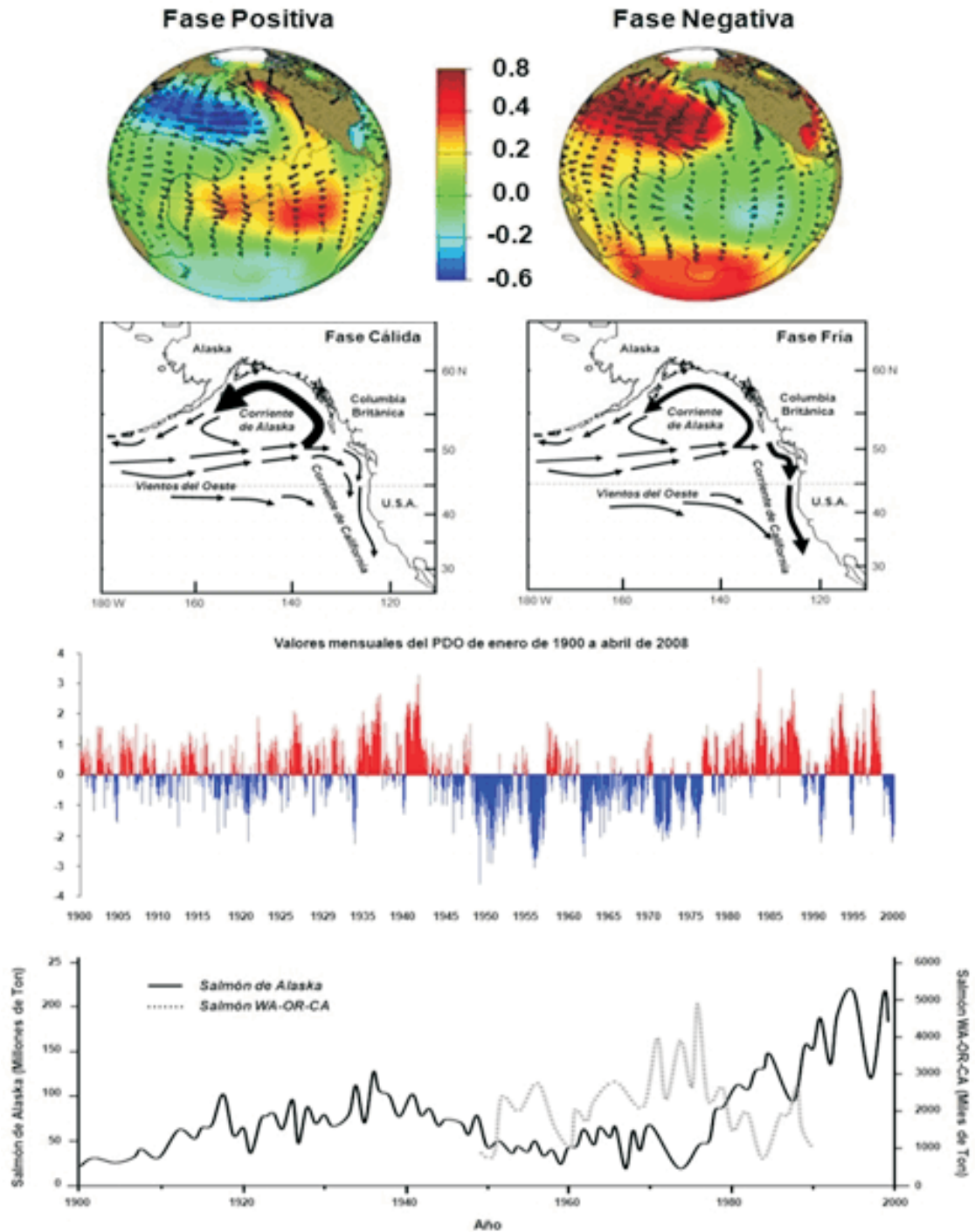
Algunos autores (Lau y Weng 1999) separan esta escala en variaciones decadales (10 años), bidecadales (20 años) y cuatridecadales (40 años). Esta escala en particular ha llamado mucho la atención, debido a que cada vez más frecuentemente se ha observado que muchas poblaciones responden a variaciones en escala de décadas en factores climáticos forzantes tales como la temperatura (Kawasaky y Omari 1988, Lluch-Belda *et al.* 1989, 1992), vientos, corrientes, etc. Ejemplos de estos procesos y las respuestas de las poblaciones a estos han sido ampliamente documentados para el salmón del Pacífico Noreste, donde debido a una intensificación del campo de baja presión de las Aleutianas a mediados de la década de los 70s, se origina un cambio en todo el sistema de corrientes, debilitándose la Corriente de California e incrementándose la fuerza de la corriente de Alaska (Fig. 25), lo que modificó todo el ecosistema del Pacífico Noreste, desde la profundidad de la capa de máxima concentración de clorofila (Venrick *et al.* 1987), fitoplancton, zooplancton, hasta los niveles superiores como son algunas pesquerías de salmón (Mantua *et al.* 1997). Especies que se presentan en ambas corrientes mostraron caídas espectaculares en la región de influencia de la Corriente de California, así como incrementos sustanciales en la zona de influencia de la corriente de Alaska (Francis y Sibley 1991, Francis y Hare 1994). A este evento en particular se le ha llamado la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP o PDO por sus siglas en inglés).

El término ODP fue dado por el oceanógrafo Steven Hare y sus colegas Nathan Mantua, Yuan Zhang, Robert Francis y Mike Wallace en la Universidad de Washington en 1996, dentro del contexto de su investigación que buscaba correlacionar la producción de salmón en Alaska y el comportamiento climático del océano Pacífico norte. La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) ha sido descrita como una fluctuación de largo período en el océano Pacífico, que afecta principalmente la cuenca del Pacífico y el clima de América del Norte. Desde el punto de vista oceanográfico y atmosférico, la ODP sería el marco de fondo para otras oscilaciones de menor período, tal como El Niño Oscilación Sur (ENOS).

Una de las diferencias entre ambas oscilaciones es la escala temporal. La duración típica de las fases ENOS oscila entre 2 y 7 años, mientras que las fases de la ODP son del orden de 20 a 30 años. La otra diferencia es la escala espacial (las regiones que parecen influenciar desde el punto de vista climático). ENOS influye sustancialmente en el clima tropical, mientras la ODP afecta al Pacífico norte y al continente norteamericano.

La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) consta de una fase positiva (o cálida) y una fase negativa (o fría). Las alteraciones climáticas más importantes en el continente americano van a suceder cuando la ODP y ENOS estén en fase.

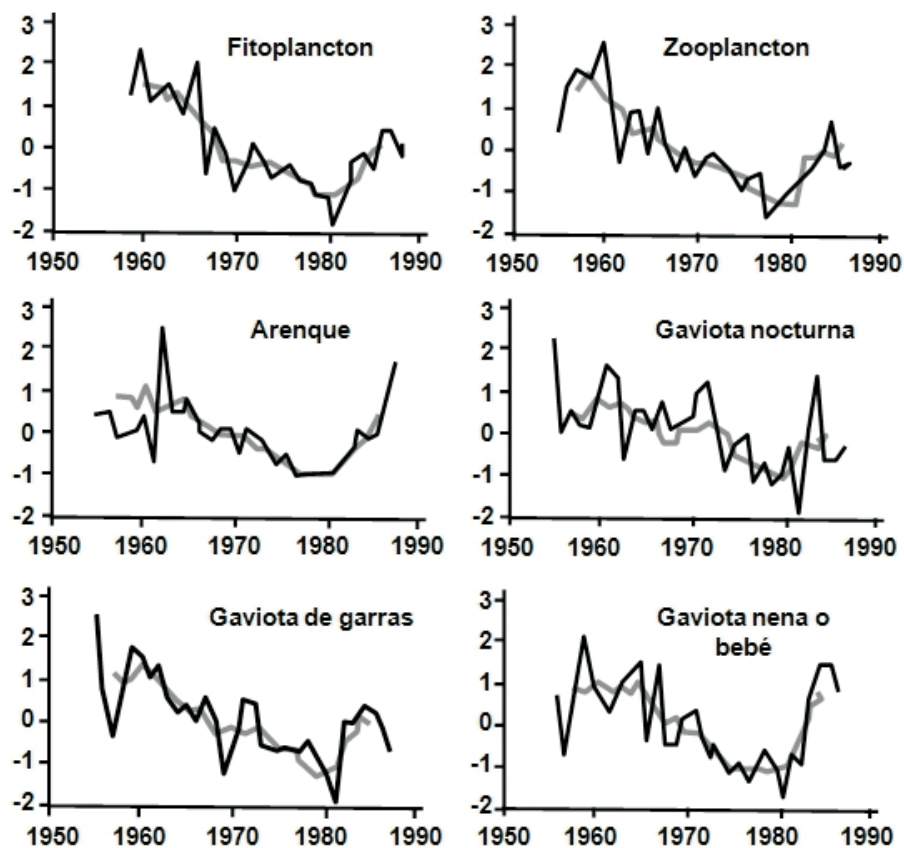
## Oscilación Decadal del Pacífico



**Figura 25.** Eventos de escala de régimen afectan de forma espectacular las poblaciones en vastas regiones del planeta, como la Oscilación Decadal del Pacífico, que afecta a todo el Noreste del Océano Pacífico.

Es decir, cuando las fases cálidas de la ODP coincidan con eventos El Niño fuertes o extraordinarios y las fases frías coincidan con eventos La Niña intensos (tal como parece ocurrir en La Niña 2007-2008, que el PDO se encuentra en fase fría e incrementa la fuerza del evento La Niña (<http://topex-www.jpl.nasa.gov/elnino/20080401.html>))

Por otra parte, se han observado modificaciones a nivel interdecadal en poblaciones que ocupan diversos niveles tróficos (desde productores primarios hasta depredadores tope) en la zona del Atlántico Norte (Fig. 26), a través de registros continuos desde 1939, siendo incierta la causa de dicho evento, pero mostrando una estrecha correlación con variaciones climáticas de gran escala, los análisis espectrales de dichas series han mostrado que al menos el 50% de la variación es atribuible al medio ambiente físico (McGowan 1990) planteándose como posible proceso forzante un evento conocido como la Oscilación del Atlántico Norte (Aebischer *et al.* 1990, Mann 1992), quizás los procesos biológicos densodependientes puedan explicar el resto, pero el esquema de muestreo y los métodos de procesado de las muestras (integrados a través de tiempo y espacio) interfieren con la detección de procesos de pequeña escala y eventos que puedan contribuir a los procesos de cambio (Root y Schneider 1995).



**Figura 26.** Variaciones en las poblaciones de plancton y peces en el Atlántico Norte (Tomado de Aebischer *et al.* 1990).



La Oscilación del Atlántico Norte es un subibaja a gran escala en la presión barométrica de las masas de aire atmosférico, situadas entre dos celdas: la de la alta presión sub tropical del Atlántico (Azores), ubicada a los 38° de latitud y la baja presión polar del Ártico (Islandia) a los 60° de latitud. Su estado condiciona en gran parte la variabilidad invernal de muchas regiones, en especial de Europa del Norte. Esta oscilación tiene dos fases que se expresan mayoritariamente en invierno.

En la fase positiva (Fig. 27) hay una intensificación la alta subtropical y de la baja polar. Este aumento en la diferencia de presión da lugar a un aumento en el número e intensidad de las tormentas invernales, que, con dirección nordeste, cruzan el Océano Atlántico. Esto da lugar a inviernos calientes y húmedos en el norte de Europa y a inviernos fríos y secos en Canadá y el norte de Groenlandia. El este de los E.E.U.U. experimenta condiciones suaves y húmedas en invierno. En gran parte de la península Ibérica disminuye la precipitación invernal.

En la fase negativa, el alta subtropical y la baja islandica se atenúan.

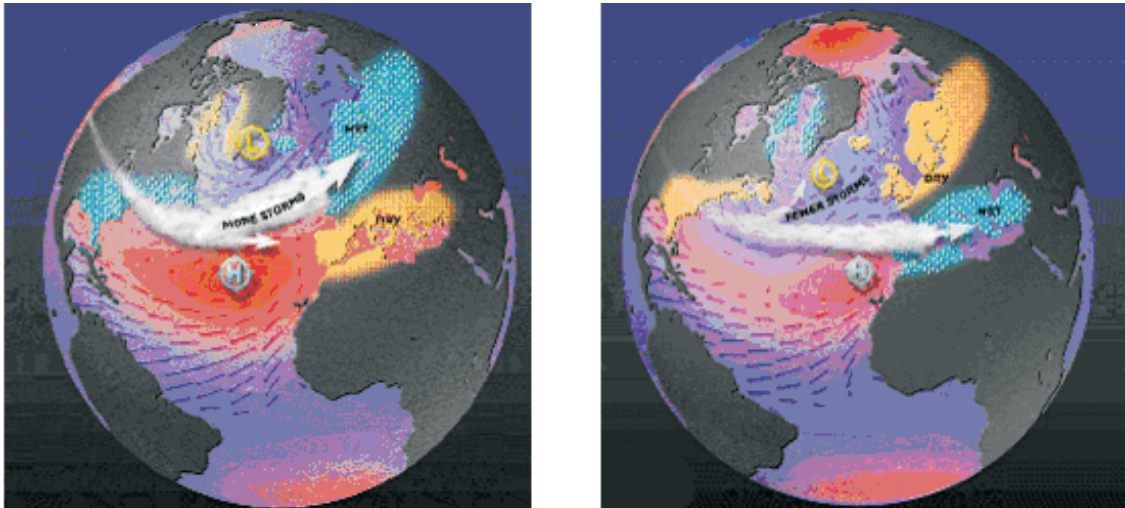
El gradiente reducido de la presión da lugar a una disminución de las tormentas en número e intensidad. La trayectoria de las tormentas se desplaza además hacia el sur. Este aire húmedo desplazado hacia el mediterráneo trae al sur de Europa un aumento de la precipitación, y frío a la Europa del norte. La costa del este de los E.E.U.U. experimenta entradas de un aire más frío y por lo tanto más nevadas (Sánchez-Santillán *et al.* 2006).

Los modelos informáticos apuntan a que la NAO responde a cambios lentos en las temperaturas globales, que tienen lugar cerca del ecuador y parece que son de gran importancia.

Ballester y González (1997) sugirieron que el comportamiento general de la variabilidad de la ciclogénesis tropical de la región del Atlántico Norte se relaciona con las variaciones de la actividad solar en los ciclos de 22 años o más. Una hipótesis de puede ser el enlace entre la actividad solar y la ciclónica en la región atlántica es que la mayor cantidad de energía proveniente del Sol durante sus períodos más activos aumenta la temperatura del aire y mediante la interacción entre la atmósfera y el océano se produce también un incremento de la temperatura en la superficie de éste. En el caso del Océano Atlántico, el calentamiento de la capa superficial pudiera provocar una mayor evaporación, causante de un aumento de la salinidad en las capas superiores oceánicas, la cual conlleva, de acuerdo con lo citado por Gray *et al.* (2000), al fortalecimiento de la circulación termohalina en dicho océano. Según los estudios realizados por Gray *et al.* (2000), el fortalecimiento de esta circulación oceánica es uno de los factores fundamentales para la formación de más huracanes en latitudes bajas, más intensos y con mayor posibilidades de afectar la costa oriental de los Estados Unidos y el Mar Caribe (Ballester y González 1997).

En esta misma escala se han observado variaciones simultáneas en sentidos opuestos de las poblaciones de pelágicos menores (particularmente entre sardinas y anchovetas) desde 1660 en las diversas regiones de surgencias del mundo, al estudio del

cual se le ha llamado el problema del Régimen (Kawasaky y Omari 1988, Lluch-Belda *et al.* 1989), debido a que las oscilaciones en las abundancias han estado acopladas a regímenes cálidos y regímenes fríos (McGowan 1990, Lluch-Belda *et al.* 1992).



**Figura 27.** Fase positiva (izquierda) y fase negativa (derecha) de la Oscilación Noratlántica. Tomado de <http://www2.uah.es/clima/doc/prediccion/nao.htm>

A través de reconstrucción de las abundancias en los sedimentos se ha encontrado que dichas poblaciones muestran oscilaciones naturales en sus abundancias, aún sin la intervención (vía la pesca) del hombre (Soutar y Isaacs 1974, Baumgartner *et al.* 1992), en respuesta a ciclos climáticos de muy baja frecuencia (entre 40-50 años) (Spencer y Collie 1997).

En ésta escala se encuentra enmarcado otro de los paradigmas de las pesquerías y en sí de toda la ecología, el de la capacidad de carga constante (Parrish 1997). Si se revisan los conceptos de capacidad de carga en ecología básica (cuyo uso parte de la concepción de un sistema estable) "capacidad de carga es K en una formula llamada la curva logística de crecimiento y quiere decir él numero de individuos de una población que el recurso de un hábitat puede soportar", algunos ecólogos definen está como el punto en el que la tasa de nacimientos es igual a la tasa de muertes, mientras que otros definen este en términos de la ley del mínimo de Leibig que dice que el tamaño de una población está controlado por cualquier recurso que este más limitado" (Pitcher y Hart 1982, Krebs 1985, Sinclair 1988, Carnell 1997, Miller 1998). Por otra parte si se revisa la ecología aplicada, capacidad de carga tiene varias definiciones: tamaño de la población en el que las existencias fijas de los animales son máximas, tamaño de la población en el que los rendimientos constantes son máximos, entre otras (Carnell 1997).

Sin embargo, cuando se revisan los registros de abundancia de algunas de las poblaciones componentes del ecosistema del Atlántico Norte (Aebischer *et al.* 1990, McGowan 1990, Spencer y Collie 1997), del Pacífico Noreste (McGowan 1990), de la corriente de Benguela (Crawford 1987), de la corriente de Humbolt (Spencer y Collie 1997) unos de los ecosistemas más ampliamente estudiados, se observan variaciones que son en algunos casos en ordenes de magnitud, aún para componentes que no son sometidos a esfuerzo pesquero (Fig. 26) y entonces vale la pena preguntarse si realmente existe una capacidad de carga constante como tal, ya que pareciera que esta capacidad de carga es variable, respondiendo más bien al forzamiento que le imponen diversos procesos ambientales que operan en el hábitat de las poblaciones, y que pueden modificar desde los productores primarios, vía suministros de nutrientes (como en el caso del cambio ocurrido a mediados de los 70's en el Pacífico Noreste) (Venrick *et al.* 1987) a cada una de las poblaciones de un ecosistema, así como a las inter-relaciones que dichas poblaciones establecen. En ese sentido la definición de Holling (1978) de las poblaciones como un sistema en el que las fronteras o límites se modifican según los contrastes externos y los cambios propios del sistema, parece más razonable.

Aún en caso de que la capacidad de carga fuera una sola, entonces vale la pena cuestionarse sobre la capacidad del hombre para evaluar dicha capacidad de carga, ya que los valores que obtengamos durante una fase de ascenso de poblaciones cíclicas, episódicas, de alta variación o de alta frecuencia (que de acuerdo a Caddy y Gulland 1983, y Spencer y Collie 1997 son el caso de la mayoría de los stock pesqueros) de esa capacidad de carga serán necesariamente muy diferentes a los que obtengamos en una fase de descenso. Esto implicaría una evaluación mucho más dinámica de las poblaciones sujetas a explotación.

Esta misma situación ha sido observada para ecosistemas terrestres como es el caso de los pastizales y praderas de África del este y áreas áridas de Australia donde algunos investigadores concluyen que el concepto de capacidad de carga no es muy útil en ecosistemas altamente dinámicos, ya que una estimación precisa de capacidad de carga es muy difícil (Miller, 1998, Steele 1998).

#### ***e) Geológicas (seculares, milenarias)***

Son eventos que ocurren sobre un periodo de 100 o más años y que están asociados con modificaciones de gran magnitud en el clima como son elevaciones en el nivel del mar debidas a calentamiento global, enfriamientos, etc. Desde hace tiempo se conoce que en un pasado remoto se produjeron lentos pero muy importantes cambios en el clima y, a grandes rasgos, se puede diferenciar entre:

a) cambios climáticos producidos en épocas geológicas: son los que ocurrieron durante el precámbrico, el paleozoico superior y los periodos glaciales de fines del mesozoico y principios del cuaternario,

b) cambios u oscilaciones que se efectuaron en épocas históricas: son los que comprenden los últimos 10.000 años, "breve período geológico hasta nuestros días", en el cual los índices paleoclimáticos indican que la Tierra conoció condiciones climáticas cambiantes, pero dentro de límites mucho más estrechos que los anteriores, caracterizados por ritmos de expansión y recesión de los hielos polares y de los glaciares de montaña, a intervalos de 2.000 a 3.000 años, conocidos como "ciclos neoglaciales".

Los cambios climáticos sobre las más largas escalas temporales ( $10^6$  a  $10^8$  años) se han asociado con la deriva continental, orogenia y epirogenia (el crecimiento de las cadenas de montañas puede afectar los patrones de circulación atmosférica; los movimientos de masas terrestres en las regiones de altas latitudes pueden iniciar intensas retroacciones hielo-albedo; variaciones en la velocidad de extensión del lecho del océano pueden alterar la batimetría oceánica y las emisiones de dióxido de carbono), mientras que los asociados con los glaciares del Cuaternario (últimos 2 millones de años), se presume que son conducidos por mecanismos de forzamiento orbital (hoy, es generalmente aceptado que las transiciones interglaciales de la Época del Pleistoceno fueron impulsadas por variaciones en la órbita de la tierra alrededor del sol, ver arriba).

En un trabajo que constituyó un hito, Hays (1976, citado en Ashley 2007) demostró la existencia de picos espectrales en el registro de volumen de hielo proxy a partir de un testigo de sedimento del océano Índico que se ajustaban a las periodicidades significativas de Milankovitch. También fue aparente en el registro la relación de fase bastante consistente entre insolación, temperatura de la superficie del mar y volumen de hielo; cada una precediendo la otra por alrededor de 2 a 4 Ka. Algo más curioso, no obstante, fue la evidencia que la contribución de 100 Ka a la varianza total del registro superaba lejos la que se esperaba a priori a partir de una relación lineal simple tener insolación y volumen de hielo. De las tres periodicidades orbitales, la excentricidad tiene el menor potencial como mecanismo forzante del clima. No obstante, su relación de fase con inclinación y precesión indica una influencia orbital primaria sobre las fluctuaciones del volumen de hielo.

Ciclos claros de duración de 100 Ka están solo presentes durante los últimos 700 Ka. Antes de este momento, parecen dominar las fluctuaciones con una periodicidad de alrededor a 40 Ka (oblicuidad). Durante las últimas dos décadas, un número de estudios mediante modelación han intentado de explicar la relación entre forzamiento astronómico y cambio del clima y reproducir algo de la abundante evidencia geológica que apoya las hipótesis de Milankovitch. La mayoría de estos estudios han sido motivados por el reconocimiento de que el valor de la perturbación de insolación asociada con el ciclo de 100 Ka (excentricidad) es insuficiente para causar un cambio climático de la magnitud de la edad de hielo. Dos diferentes enfoques mediante modelos son evidentes.

El primero considera que los cambios del volumen de hielo son **impulsados** primariamente por forzamiento orbital. Algunos autores han demostrado que en los períodos 23 Ka y 41 Ka, el volumen de hielo (medido por el  $^{18}\text{O}$ ) responde linealmente al forzamiento orbital. A 100 Ka el efecto es no lineal. La potencia de 100 Ka en el espectro de frecuencia está generada por la transmisión de las frecuencias de 19 Ka y 23 Ka (precesión) por un sistema no lineal. La no linealidad de la respuesta climática es más

evidente a la finalización de los episodios glaciales, con una rápida transición al estado interglacial. Para explicar tales transiciones rápidas, deben inferirse lazos de retroalimentación climática interna.

Un enfoque totalmente diferente para modelar la variabilidad climática de 100 Ka involucra la hipótesis que las fluctuaciones glacial–interglacial son la consecuencia de interacciones internas no lineales en un sistema altamente complejo. En esta situación, las fluctuaciones del volumen de hielo son **moduladas** en lugar de impulsadas por el forzamiento orbital. Fluctuaciones cuasi periódicas dentro de varios componentes del sistema climático (por ejemplo, variaciones en CO<sub>2</sub>, circulación oceánica, temperaturas del agua de superficie y profunda) están enlazadas en fase a los cambios en insolación de debidos al ciclo de 100 Ka.

Debido al tiempo de vida media del hombre, las respuestas de las poblaciones naturales a estos procesos forzantes han sido inferidas en su mayoría de análisis de registros fósiles, tanto de núcleos de hielo como de sedimentos laminados (Gates 1993, Thunell 1996, Ashley 2007).

En el pasado, ecosistemas enteros han cambiado en respuesta a cambios globales en la temperatura. En general, durante calentamientos, los cambios fueron ampliaciones de distribución: las especies colonizaron nuevos hábitats hacia los polos, mientras sus rangos se contrajeron en el ecuador debido a que no presentaba características adecuadas. Los organismos ecuatoriales entonces se expandieron hacia áreas anteriormente templadas, mientras que los organismos de áreas templadas hicieron lo mismo en algunas áreas previamente del dominio de las comunidades boreales. Ejemplos de estos cambios se registraron durante varios interglaciales en el Pleistoceno, en el que la temperatura en Norteamérica fue aparentemente 2-3 °C mayor que ahora. Las naranjas de Osage y la papaya crecieron cerca de Toronto, varios cientos de kilómetros al norte de su distribución actual. Los manatíes nadaban en Nueva Jersey, el tapir depredaba en Pensilvania (Dorf 1976).

Otros cambios significativos en el rango de distribución de las especies han sido causados por alteraciones en la precipitación que acompañan al calentamiento global, incluyendo expansión de las llanuras en la parte medio oeste de América durante un episodio de calentamiento hace aproximadamente 7,000 años de edad.

Los registros fósiles muestran que muchas especies han sido capaces de cambiar exitosamente en respuesta a cambios climáticos, mientras que muchas otras no, principalmente debido a que sus tasas de migración fueron muy lentas o debido a barreras geográficas tales como océanos, montañas o áreas de suelos inadecuados (Cronin y Schneider 1997). Sin embargo, es muy importante la tasa de cambio en el clima para la sobrevivencia de las especies, ya que aun existiendo otras áreas adecuadas para la sobrevivencia de las especies si migran, la extinción puede ocurrir si el hábitat actual se hace inhabitable antes de que el nuevo hábitat pueda ser colonizado.





**Figura 28.** En escala de tiempos geológicos se han presentado eventos de elevación del mar y periodos de enfriamiento y calentamiento cíclicos. (Fuente: <http://alerce.pntic.mec.es/~mala0017/>)

Igualmente importante es la tasa de dispersión de los organismos en su habilidad de colonizar sitios adecuados durante cambios climáticos. Por ejemplo, las especies de plantas templado-calidas fueron empujadas hacia el sur de Gran Bretaña e Irlanda por el enfriamiento durante el Pleistoceno. Cuando la temperatura se incremento, estas plantas se movieron hacia el norte nuevamente, pero solo algunas se dispersaron lo suficientemente rápido para alcanzar Gran Bretaña antes de que el incremento en el nivel del mar separara a este del continente europeo (Cox *et al.* 1973, Kaustuv *et al.* 1996).

Si bien algunos animales son móviles, la distribución de algunos animales es limitada por la distribución de plantas particulares. Su tasa de dispersión puede ser principalmente limitada por la tasa de dispersión de las plantas que co-ocurren. Por otra parte, organismos altamente móviles, particularmente los cosmopolitas pueden cambiar rápidamente (Edgell 1984).

Por otra parte, aún animales físicamente capaces de dispersiones de grandes distancias pueden estar restringidos por comportamiento. Muchas especies de aves por ejemplo, simplemente no atraviesan aun cuando las áreas no deforestadas sean muy pequeñas (Diamond 1975). Una alternativa para el cambio latitudinal, aún para especies que no pueden dispersarse rápidamente, es el cambio en la altitud (un cambio de 3°C de enfriamiento de 500 m en la elevación es aproximadamente igual a un cambio de 250 km en latitud de acuerdo a MacArthur 1972).

Debido a que las especies cambian a diferentes tasas en respuesta a cambios climáticos, las comunidades pueden disociarse en sus especies componentes. Estudios en registros fósiles muestran que no hay cambios concertados en las especies, al contrario las especies responden individualmente al cambio climático de escala global, formando comunidades no usuales de plantas y animales (Van Devender y Spaulding 1979, Davis 1983, Graham y Grimm 1990).



## ***ESCALAS ESPACIALES***

Para referirnos a la variación espacial, seguiremos la escala propuesta por Mann en 1992 (Tabla II).

**Tabla II.** Clasificación de escalas de variación en tiempo propuestas por Mann (1992)

<b>Tipo</b>	<b>Escala</b>
Microescala	micras a metros
Mesoescala	cientos de metros
Regional	cientos de kilómetros
Cuenca	5 000 - 20 000 km
Global	Todo el planeta

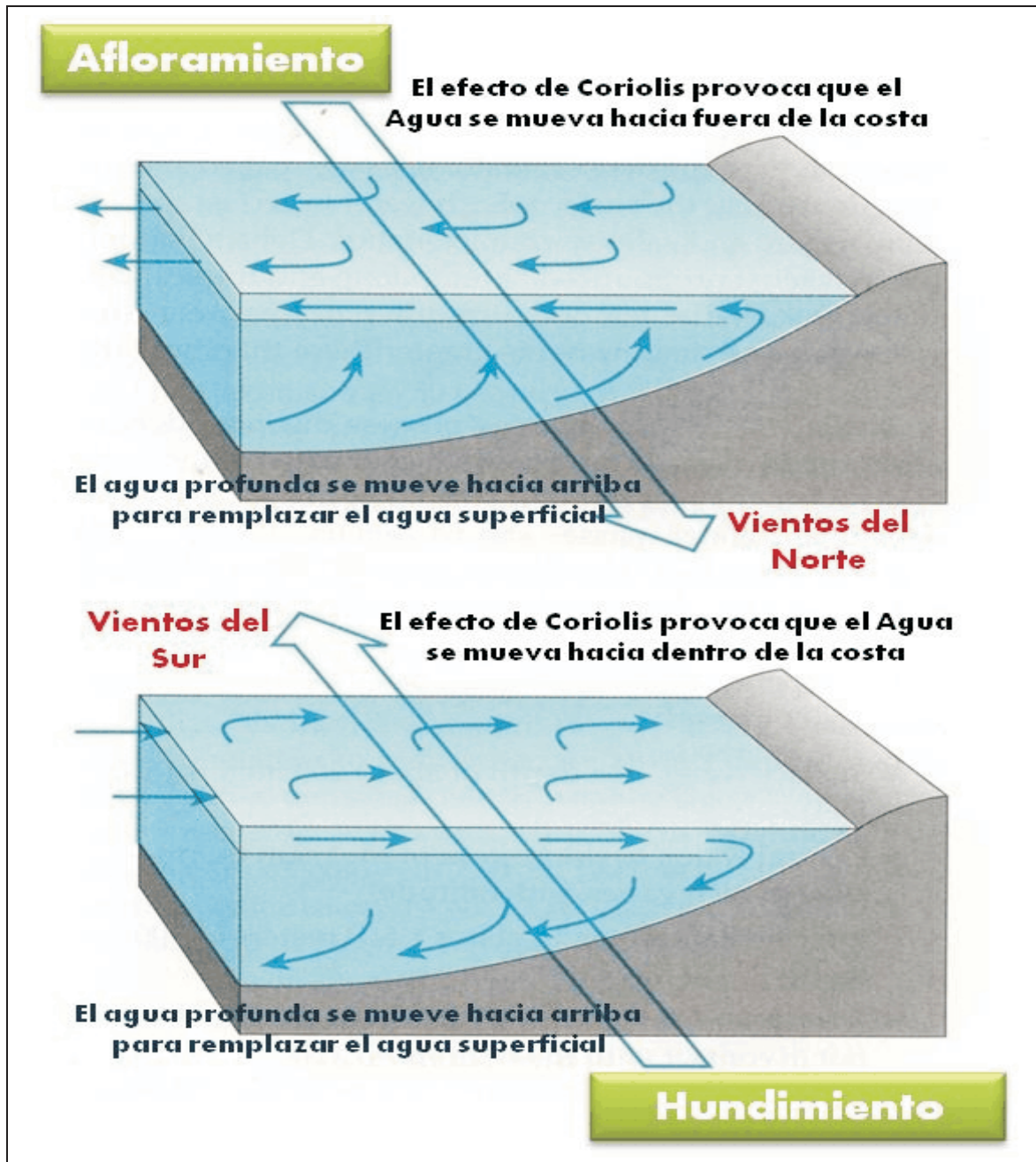
### ***a) Microescala (micras a metros)***

La microescala comprende estructuras cuya duración es inferior al día y que se presentan a una escala de pocos metros. Incluye, entre otros, los procesos de doble difusión, las ondas capilares y la turbulencia. Los factores que intervienen en estos espacios tan reducidos son aquellos que determinen el efecto de la viscosidad, difusión pasiva y capa límite sobre los organismos principalmente en estadios planctónicos.

La respuesta biológica de los organismos en esta escala es a desarrollar mecanismos que les permitan contrarrestar el ambiente tan denso en el que se ven inmersos con la finalidad de adelgazar la capa límite y poder asimilar nutrientes. Los mecanismos van desde desarrollar movimiento (dinoflagelados) o hundirse (diatomeas), hasta presentar afloramientos en periodos de inicio (diatomeas) o fin de una surgencia (microflagelados).

### ***b) Mesoescala (cientos de metros)***

La dinámica de mesoescala abarca procesos que tienen lugar entre pocos días y pocos meses, y a una escala espacial de decenas a escasos centenares de kilómetros. La termoclina estacional, los frentes de densidad, la circulación inducida por el viento, los remolinos, las inestabilidades de la circulación por efecto de la topografía del fondo, de los aportes continentales o del viento, etc. son procesos que tienen lugar a estas escalas.



**Figura 29.** Los fenómenos que operan en la escala regional influyen en áreas relativamente grandes cercanas a la costa (procesos de margen oceánico). Los frentes de marea y el transporte fuera de la costa de Ekman derivado de vientos a lo largo de la costa (producción de fitoplancton) son altamente importantes para sostener la vida.

Los procesos de advección y difusión, como el reparto de material disuelto (contaminantes, nutrientes, etc.) o en suspensión (seston, plancton) dependen de la dinámica de mesoescala. Su papel es particularmente significativo en zonas costeras, de plataforma y márgenes continentales, debido a la interacción con el fondo y el litoral. La dinámica de mesoescala juega un papel destacado en la distribución, estructura y funcionamiento de los ecosistemas planctónicos y bentónicos, en la dinámica del seston y en los procesos sedimentarios.

Los factores forzantes en esta escala espacial son principalmente factores que pueden originar mezcla vertical, tales como vientos, mareas, etc. La intensidad de ellos va a determinar el grado de estratificación de la columna de agua, ya que cuando una columna de agua se calienta por efecto de radiación, el calentamiento es mayor en superficie donde se forma una capa de baja densidad y uniforme por el proceso de mezcla originado por los vientos, separada de otra capa mas profunda con densidad mayor y poca mezcla. La separación se establece por una zona de fuerte gradiente llamado termoclina, la cual funciona como una barrera para la distribución a mayor profundidad de los productores primarios. Cuando los vientos se incrementan, se incrementa la mezcla en la zona mezclada superficial y por lo tanto la termoclina se hunde. Este hundimiento origina un mayor aporte de nutrientes hacia la superficie proveniente del fondo. Sin embargo, si la termoclina esta muy profunda, debido a que existe una profundidad crítica para que el fitoplancton pueda producir un excedente de fotosíntesis para el crecimiento, no se va a presentar mayor crecimiento (efecto Gran). Cuando los vientos se debilitan y el agua a su vez se calienta (primavera), la termoclina se hace lo suficientemente somera para que se presenten los afloramientos de primavera. En los esteros, el flujo de la marea sobre el fondo rugoso provee la fuerte mezcla vertical, mientras que la entrada de agua dulce por ríos provee la flotabilidad que conduce a la estratificación y afloramientos de primavera. Este hecho origina periodicidades lunares de los patrones de producción de fitoplancton.

Este efecto a su vez se presenta en sistemas de surgencia, los cuales son sujetos de periodos alternados de fuertes vientos donde las surgencias son fuertes, produciendo áreas donde la columna de agua es débilmente estratificada seguidos de periodos de calma donde el agua superficial se calienta y la estratificación es mayor (profundidad de capa de mezcla de 5-15 m), que es cuando las células de fitoplancton se mantienen en un área relativamente somera de la columna estratificada y se presentan los afloramientos.

### ***c) escala regional (cientos de kilómetros)***

Los fenómenos que operan en esta escala espacial son los que influyen en áreas relativamente grandes cercanas a la costa (procesos de margen oceánico) (Fig. 29), tales como las mayores productividades cercanas a la boca de los esteros generadas por la descarga de los ríos de agua menos salada que favorece la mayor flotabilidad, lo cual conduce a la estratificación de la columna de agua y a los afloramientos de fitoplancton y a condiciones favorables para la sobrevivencia de larvas de peces en áreas cercanas a la costa. Además, como el agua que fluye hacia el mar tiende a mezclarse con el agua debajo de esta y acarrear algo de esta agua hacia el mar. Para compensar este efecto, se desarrolla un flujo

de agua profunda rica en nutrientes hacia la costa, la cual es forzada hacia la superficie cuando se acerca al margen continental, desarrollándose una surgencia debida al flujo del río (mecanismo de circulación estuarina). Este mecanismo de enriquecimiento es muy importante y muchos organismos (peces, crustáceos, moluscos) en alguna etapa de su vida están adaptados a las fluctuaciones estacionales de los aportes de los ríos.

Los frentes de marea a su vez son altamente importantes debido a su alta producción biológica. Igualmente importante es el transporte de Eckman fuera de la costa derivado de vientos a lo largo de la costa, el cual influye enormemente en la producción de fitoplancton y por lo tanto en mantener grandes biomásas como las de los peces pelágicos.

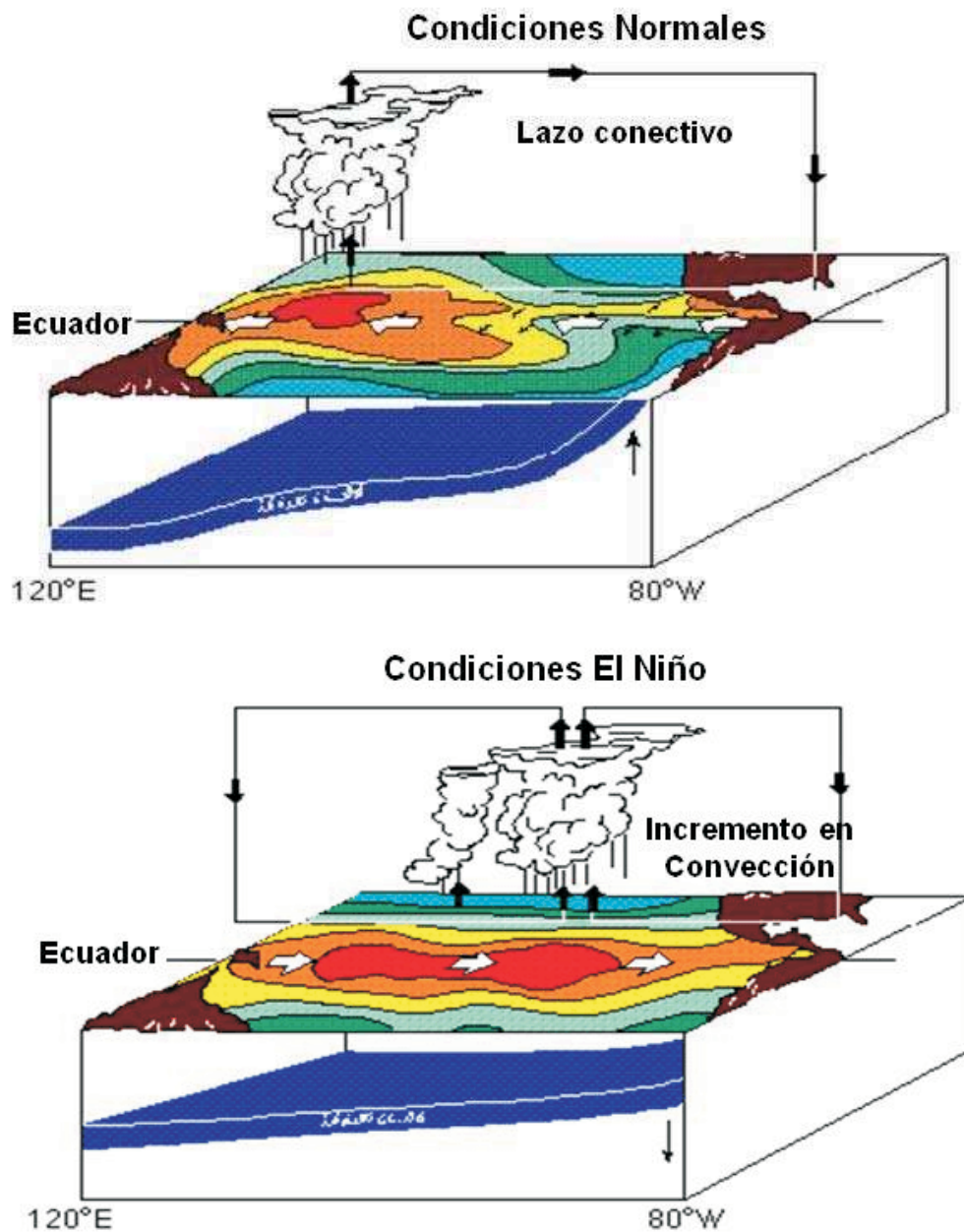
Otro proceso muy importante en esta escala espacial son los "eddies", cuya influencia va de cientos a miles de kilómetros y con una persistencia de semanas a meses. Los eddies contienen más energía que ninguna otra forma de movimiento en el mar y juegan un importante papel en determinar la distribución de los organismos pelágicos, creando variaciones localizadas en el suministro de nutrientes, tanto a lo largo de frentes que separan los sistemas individuales o a través de cambios en la estructura vertical (Angel 1992, Mann y Lazier 1996).

#### ***d) Escala de cuenca.***

El término patrón climático de teleconexión se refiere a patrones de anomalías de la circulación atmosférica recurrentes y persistentes en el tiempo que afectan vastas áreas geográficas distantes entre si. Aunque estos patrones por lo general suelen durar semanas o meses, ellos pueden mantenerse incluso durante años consecutivos reflejando o condicionando una parte importante de la variabilidad interanual e interdecadal de la circulación.

Existen patrones de gran escala de variabilidad y que tienen efectos profundos en las poblaciones naturales tales como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), la Oscilación del Atlántico Norte y El Niño de Benguela. El mejor conocido de ellos es el evento de El Niño-Oscilación del Sur (Fig. 30). En condiciones "normales", los vientos confluyen en ambos lados del Ecuador en la Zona de Convergencia Intertropical. Estos vientos soplan hacia un área de baja presión en el Pacífico Oeste, localizada alrededor de los 180° W, en donde el aire se eleva debido al calor ganado de la superficie del mar, más caliente. En altas latitudes el aire se mueve hacia el este y desciende sobre un área de alta presión del Pacífico Este para completar una Celda de Circulación de Walker (Glantz 1996). En el Ecuador hay varias de esta y los cambios en una es posible que afecten a todas (Mann 1992). El forzamiento de los vientos sobre el Ecuador apila agua en la costa oeste del Pacífico, originando una elevación en el nivel del mar y un hundimiento en la termoclina en el lado oeste, mientras que en el lado este del Pacífico la termoclina se mantiene somera favoreciendo los afloramientos de fitoplancton y con ello la producción de condiciones favorables a los peces.

Cuando se inicia la fase de El Niño de la Oscilación del Sur se debilitan los vientos y la celda de baja presión se corre hacia el centro del Ecuador, mientras que las celdas de alta presión se trasladan hacia ambos lados del Pacífico (Glantz 1996).



**Figura 30.** Los fenómenos que operan en la escala de cuenca influyen en grandes áreas. Eventos tipo El Niño afectan a todo el Océano Pacífico (Tomado de *NASA/USRA Cooperative University-Based Program in Earth System Science Education ESSE*).



Este hecho origina que la termoclina se eleve en el oeste y el cambio se propaga al este a través del ecuador mediante una onda atrapada. Esta onda choca con el margen continental en el lado este del Pacífico y se propaga a lo largo de la costa hacia el norte y sur del continente americano hasta diferentes latitudes dependiendo de la intensidad del evento, llegando en algunos de ellos (1982-83 y 1997-98) hasta los 50° de latitud Norte. Los impactos biológicos asociados a estos eventos se observan en todo el Pacífico, incluyendo cambios en los ecosistemas marinos que van desde cambios fisiológicos en el crecimiento, reproducción y mortalidad de algunas poblaciones, migraciones, proliferación de especies oportunistas y presencia de especies foráneas. Igualmente impactan ecosistemas terrestres originando sequías en algunas regiones (Sudáfrica, Indonesia, Australia, el este de E.U., y el Sureste de Perú y Bolivia), inundaciones en otras (Ecuador y Perú, Argentina y Paraguay) además de daños a la agricultura, recrudescimiento en plagas de insectos y ácaros (Vargas *et al.* 1985, Glantz 1996).

Además de estos cambios, cuando el evento El Niño es tan fuerte que su influencia llega hasta Norteamérica tiene efecto también en el ámbito atmosférico en el sistema de baja presión de las Aleutianas, causando que agua caliente se acumule en la costa, hundiendo la termoclina y debilitando las surgencias. Así mismo el límite entre el giro subtropical y el giro subártico en el Pacífico norte se mueven hasta 1 500 km más al norte. Este hecho trae como consecuencia algunos cambios como son:

- 1) incremento en la supervivencia de las clases anuales de la macarela debido a reducción en el transporte de Eckman lo que permite a las larvas permanecer más cerca de la costa donde existen concentraciones de alimento más altas (Sinclair *et al.* 1985)
- 2) Cambios en la ruta de retorno del salmón (Xie y Hsieh 1989)
- 3) Cambio hacia el este de los patrones de distribución del atún aleta azul (Yamanaka 1985)

La Oscilación del Atlántico Norte por otra parte si bien está menos documentada y presenta tendencias cíclicas de entre 25-40 años, permite reconocer como ya se dijo, dos condiciones extremas: la primera caracterizada por una pequeña diferencia de presión entre Islandia y las Azores, cuando los principales vientos del Oeste viajan tan al norte que normalmente atraviesan el Atlántico, por lo tanto las temperaturas son más frías fuera del Oeste de Europa y más calientes fuera del este de Norteamérica. La otra condición muestra la situación inversa, con una gran diferencia de presiones entre Islandia y las Azores predominando las condiciones calientes en el Este del Atlántico. Al igual que en el Pacífico, este evento se ha parametrizado en un índice: la Oscilación de invierno del Nor-Atlántico. Cambios en este índice han originado cambios sustanciales de movimientos hacia el norte de muchas especies animales durante las fases anómalas, disminuciones en la biomasa de plancton (Aebischer 1990), camarón, y diversas especies de peces (McGowan 1996).



Otro evento de grandes magnitudes es El Niño de Benguela (Shannon *et al.* 1986), cuyo mecanismo es muy similar al de El Niño en el Pacífico e incluso se ha llegado a relacionar y plantear que este conectado a éste a través de un progreso gradual hacia el este de las anomalías atmosféricas, afectando al Atlántico un año después (McLain *et al.* 1985). Sin embargo, los estudios que se han hecho al respecto han tenido poco éxito en conectar estos dos eventos por la periodicidad de ambos: El Niño de Benguela ocurre aproximadamente cada 10 años, mientras que El Niño del Pacífico se presenta en intervalos de 3-7 años. En el sistema de Benguela dos fenómenos han sido reconocidos: un movimiento hacia el sur de agua cálida a lo largo de la costa de Namibia en latitudes de 15-25° S y un calentamiento más general de agua fuera de la costa en el Atlántico Sureste. Los cambios biológicos asociados a este evento incluyen cambios en la biología de la sardina, anchoveta y otras especies.

Adicionales a estos patrones explicados existen otros, que surgen de forma natural al estudiar los modos de variación atmosférica. Estos patrones no han recibido tanta atención como SOI y NAO debido a que hasta épocas recientes no se conocía su existencia. En el Atlántico Norte, además de NAO existe el patrón East-Atlantic (EA), y el East-Atlantic Jet (EA-Jet). Sobre Eurasia existen cuatro patrones de teleconexión: East Atlantic-Western Russia (EATL/WRUS), Scandinavia (SCA) y Polar-Eurasia (POL).

Además de estas escalas espaciales aquí mencionadas, existen escalas más pequeñas tales como la variación diurna (altamente importante en cuanto a su contribución energética) (Pares *et al.* 1997). Cual escala escoger o ignorar depende del fenómeno que deseemos estudiar o de la aplicación que hagamos. Además, se debe resaltar el hecho de que las escalas espaciales y temporales están ligadas (una tormenta esta asociada con eventos de micro y mesoescala espacial y eventos tipo El Niño están asociados con escalas espaciales regional y de cuenca) (Parrish 1997).

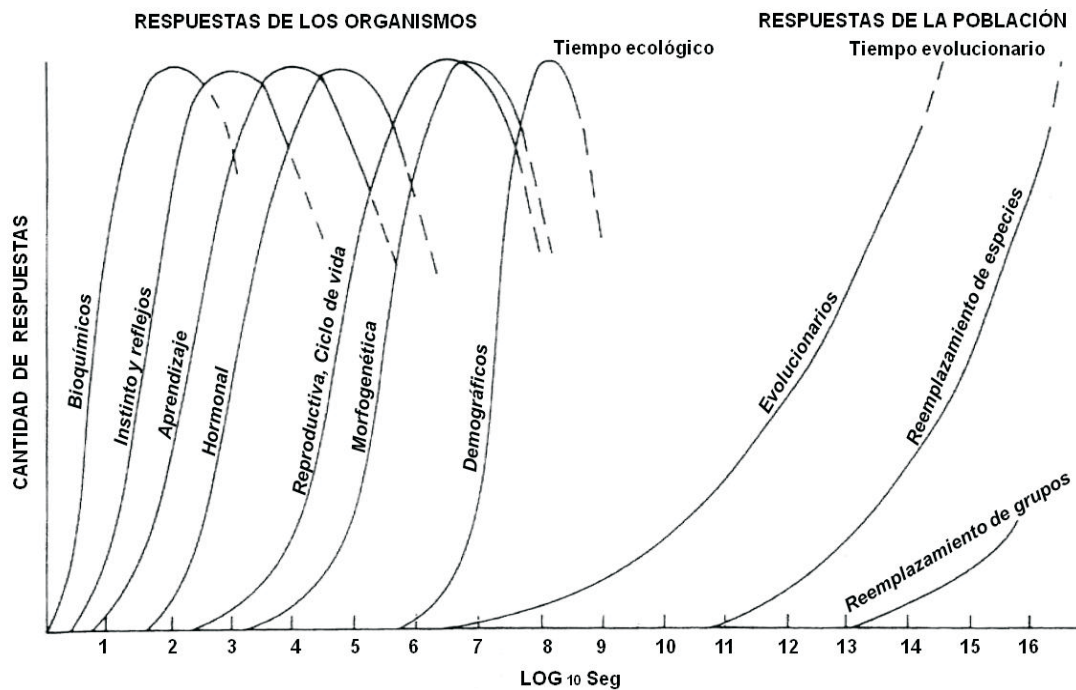
#### **4. LAS POBLACIONES ANTE LA VARIABILIDAD**

Las poblaciones biológicas al estar inmersas en todas estas escalas de variación, han tenido que desarrollar mecanismos o conductas que les permitan no solo contrarrestar, sino además aprovechar los efectos del ambiente tan variable. La selección natural opera en todas las escalas temporales y espaciales de tal manera que permita la subsistencia del más apto (Mayr 1970). En ese sentido, los mecanismos de respuesta de las poblaciones van en escalas de horas a milenios (Fig. 31) e incluyen adaptaciones morfológicas, bioquímicas y de conducta en reproducción, crecimiento, distribución, abundancia, etc., en respuesta a efectos fisiológicos, incluyendo procesos metabólicos influenciados por la temperatura, salinidad y nivel de oxígeno (Shriner y Street 1998), cuyo fin último es ser el más apto y obtener la mayor cantidad de descendientes para asegurar la permanencia de la especie. Bajo este esquema, una apreciación de las diversas escalas de variación es un claro pre-requisito para unificar la dinámica de los procesos oceánicos y atmosféricos con la dinámica de las poblaciones (Levin 1992).

De particular importancia es el conocimiento de los patrones de dominancia (en el sentido de la importancia en controlar las respuestas) de los procesos causales en escalas particulares.

Los patrones y procesos biológicos y ecológicos corren paralelos a los patrones y procesos océano-atmosféricos y tienen amplitudes espaciales de aproximadamente 16 ordenes de magnitud, de  $10^{-10}$  m (el movimiento de moléculas) a aproximadamente 1000 km (la magnitud de un bioma) o aun mayores (Nielson 1986), e igualmente ocurren sobre un amplio rango de escalas de tiempo, desde respuestas a procesos locales como son tormentas, a extinciones causadas por factores que operan en escalas de tiempo geológico (Haury *et al.* 1977, McGowan 1990, Graham y Grimm 1990, Parrish 1997). Movimientos de las poblaciones de corto término son originados por fluctuaciones de pequeña escala en el medioambiente (Mendelssohn y Cury 1987).

Las migraciones estacionales en su momento dependen de los requerimientos fisiológicos de condiciones medioambientales específicas en diferentes estadios de vida, los cuales han definido comportamiento adaptativo hacia áreas de desove o crianza (McCleave *et al.* 1984).



**Figura 31.** Secuencia de respuestas biológicas de los individuos y las poblaciones ante factores forzantes del medio (Tomado de Pitcher y Hart 1982).

En escalas de tiempo interanual, los organismos pueden verse afectados por emergencias o sumergencias de hábitat y disponibilidad alimenticia a escala de cuenca entre otros (Sharp 1978, Polovina 1996). En escala de décadas cambios en sistemas naturales afectan la producción de ecosistemas completos (Aebischer *et al.* 1990, Ebbesmeyer *et al.* 1991, Polovina *et al.* 1994) y en escala de centurias o mayores cambios drásticos en el clima han originado modificaciones y corrimientos de hábitat y reestructuración de las comunidades terrestres y marinas (Graham y Lundelius 1984, Graham 1986, Graham y Grimm 1990, Leakey y Rogers 1996).

Como ya se menciona previamente, los diagramas tiempo-espacio fueron usados inicialmente para proveer un marco de trabajo conceptual para entender las interacciones entre los procesos físicos (Stommel 1963). Esta aproximación fue posteriormente extendida (Fig. 21 a 23) para incluir las interacciones entre las poblaciones marinas y su medio ambiente (Haury *et al.* 1977, Steele 1988, Cury 1991, Hofmann y Powell 1998). Sin embargo, es muy difícil descomponer las respuestas de las poblaciones a los diversos factores forzantes de la variabilidad debido a que están altamente traslapados.

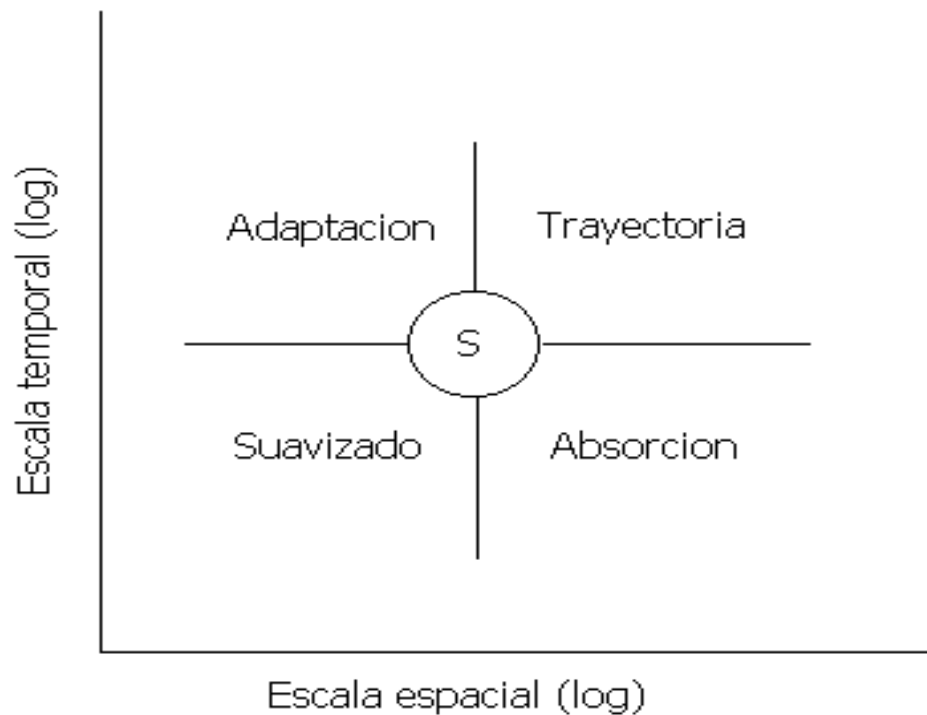
Cualquier consideración de efectos de escala debe reconocer el tamaño de los organismos a tratar y de la persistencia del proceso forzante. Ante un evento de corta duración y escala regional organismos pequeños con ciclos de vida corto y poca movilidad, van a responder mediante mecanismos de modificaciones en la reproducción. Así, microorganismos que doblan su número en días o menos, pueden responder a eventos forzantes con similares persistencias en el tiempo. Especies que tienen ciclos de vida de unos pocos meses a años respondan preferentemente a través de comportamiento, mediante movimientos migratorios verticales o aun ampliaciones de sus patrones reproductivos (Angel 1992, Hofmann y Powell 1998). Los organismos más grandes y con mayor capacidad de desplazamiento pueden moverse libremente sobre grandes distancias, independientemente de los procesos físicos de mezcla, mientras esperan a que se restablezcan las condiciones ideales. Los grandes peces y cetáceos no solos son capaces de explotar los ciclos estacionales migrando entre altas y bajas latitudes, sino que además toman ventaja de las oportunidades locales creadas por la concentración de biomasa a lo largo del sistema de convergencia de los frentes (Pitcher y Hart 1982, Angel 1992). Sin embargo, ante un mismo evento de corta duración pero mayor amplitud espacial, tal como un evento El Niño los organismos no siempre tienen la misma capacidad de respuesta. No es fácil distinguir si una respuesta es causada por un ajuste evolutivo de largo tiempo al ambiente o si es una respuesta de corto tiempo al ambiente local (Myer 1974, Pitcher y Hart 1982, Cury 1991).

Debido a que las relaciones de las especies con su medio ambiente son complejas, los antecedentes de factores fisiológicos, interespecíficos y genéticos pueden combinarse para dar la forma en que las distintas especies responderán ante las diversas escalas de variabilidad climática a las que se ven enfrentadas. Los factores biológicos tales como biología reproductiva y sensibilidad fisiológica a la temperatura claramente juegan un papel importante en la determinación de que especies cambian y cuales permanecen sin modificación durante el mismo cambio ambiental (Pitcher y Hart 1982, Charnov y Guillooly 2004). Igualmente importante en esta definición es el “pool genético” que posean

los organismos, que los capacita a responder más rápido o más lento y de diversas maneras a factores forzantes del cambio (Mayr 1970, Holt 1990, Schluter 1998, Sato 1999, Charnov 2001). La longevidad igualmente influye en la posible respuesta, animales con ciclo de vida corto pueden ser capaces de responder más rápidamente al mismo evento, que animales de ciclo de vida largo, debido a la mayor cantidad de generaciones producidas en el mismo tiempo, en comparación con un organismo de ciclo de vida largo (Pitcher y Hart 1982, Shriner y Street 1998, Charnov 2005).

Steele (1978) mediante un diagrama (Fig. 32) planteo como puede responder cualquier stock, población o grupo trófico ante las diversas escalas de variación espaciales y temporales:

De acuerdo a este diagrama, las poblaciones pueden amortiguar (suavizar) los cambios que ocurren en escalas pequeñas de variación en tiempo y espacio debido a que su desarrollo evolutivo los capacita a ello (Mayr 1970, Cury 1991, Charnov 2005). Los cambios que se presentan en escalas espaciales bajas y por tiempo suficientemente largo pueden originar adaptación mediante mecanismos como parchados, formación de cardúmenes, migración o selección de áreas de desove.



**Figura 32.** Respuesta de las poblaciones, S, a la variabilidad en las distintas escalas en espacio y tiempo. (Tomado de Steele 1988)

Los cambios en escalas espaciales mayores (regional o de cuenca) pero episódicos (escalas temporales pequeñas, tales como los eventos El Niño) pueden ser absorbidos, pero debido a la naturaleza no lineal de las respuestas, estos mismos cambios pueden contribuir y aun dar origen a la tendencia y la posible respuesta de la población a cambios de larga escala espacial y temporal, la cual no será de ninguna manera lineal (Cury y Roy 1989).

Es importante considerar que sobre las pasadas décadas los análisis empíricos de las relaciones entre los diversos procesos y alguna respuesta biológica han mostrado una relación consistentemente en forma de domo (Mendelssohn y Cury 1987, Mendelssohn y Mendo 1987, Cury y Roy 1989), donde la respuesta de la población al proceso forzante es más alta en un cierto nivel y decrece hacia intensidades más bajas y altas de dicho nivel, a este tipo de comportamiento se le ha llamado “ventana ambiental” (Cury y Roy 1989, Cury 1991)

En general, para cualquier especie hay al menos cuatro escalas espacio-temporales relevantes, que tienen que ver con:

- la adquisición de grupos alimenticios particulares o evadir depredadores (para los organismos en lo individual).
- la búsqueda de concentraciones de alimento y los movimientos verticales u horizontales manteniendo la agregación (para un grupo o cardumen).
- el desove (para un stock o población).
- la distribución (para toda la población).

La mayor parte del trabajo de investigación efectuado puede ser agrupado en alguna de ellas y básicamente lo que se quiere es entender y aun predecir eventos en una categoría basados en información de las otras. Existe un amplio rango de escalas envueltas en todas estas actividades por lo que es imposible integrar los cuatro patrones de comportamiento dentro de un solo marco de trabajo conceptual (Steele 1988). Para tratar de entender las posibles formas en que las diversas escalas de variabilidad espacio-temporales afectan a las poblaciones, antes que nada se necesita un conocimiento exhaustivo del ciclo de vida de la especie, la parte del hábitat que ocupa en cada fase de desarrollo y las variables ambientales que influyen el desarrollo de los organismos, además de su importancia relativa en la determinación de la magnitud del reclutamiento (Levin 1992, Glantz 1996). Se han hecho intentos de esquematizar los diversos procesos que intervienen a lo largo del ciclo de vida de un organismo como el desarrollado por Glantz (1996) en el diagrama planteado en la figura 33.

Es obvio que los organismos adaptan sus ciclos de alimentación, desove o migración a factores físicos que tienen periodicidad regular (temperatura, fotoperiodo, etc.). Pero como

ya se vio, aparte de los ciclos diarios, lunares y estacionales, existen ciclos asociados con dinámica geostrófica y con diversas periodicidades (interanuales, decadales, etc.) asociados con eventos climáticos.

Un ejemplo de cómo los diversos procesos definen la conducta biológica, son los patrones de desove que parecen determinados por algún rasgo específico del ciclo anual (temperatura, surgencias, etc.). Por lo tanto, cuando analizamos diferencias interanuales en el reclutamiento, es muy probable que estas estén más asociadas con eventos de alta frecuencia tales como los climáticos (tormentas, pleamares, etc.).

Por otra parte, cambios grandes en las poblaciones van a requerir eventos con escalas de variabilidad mayor en espacio y tiempo.

En general en el océano las poblaciones pueden absorber el ruido de alta frecuencia, pero van a responder a la mayor varianza mediante cambios en la población o en la estructura de la comunidad (Pitcher y Hart 1982, Steele 1985, Steele 1988). Bajo condiciones naturales, se debe esperar que las diferentes historias de vida de los organismos resulten en diferentes tiempos de ajuste al nuevo juego de condiciones cuando ocurre un cambio (Charnov 2005).

Un ejemplo de las diversas estrategias adoptadas por algunos organismos en la Corriente de California lo podemos ver en la Tabla III.

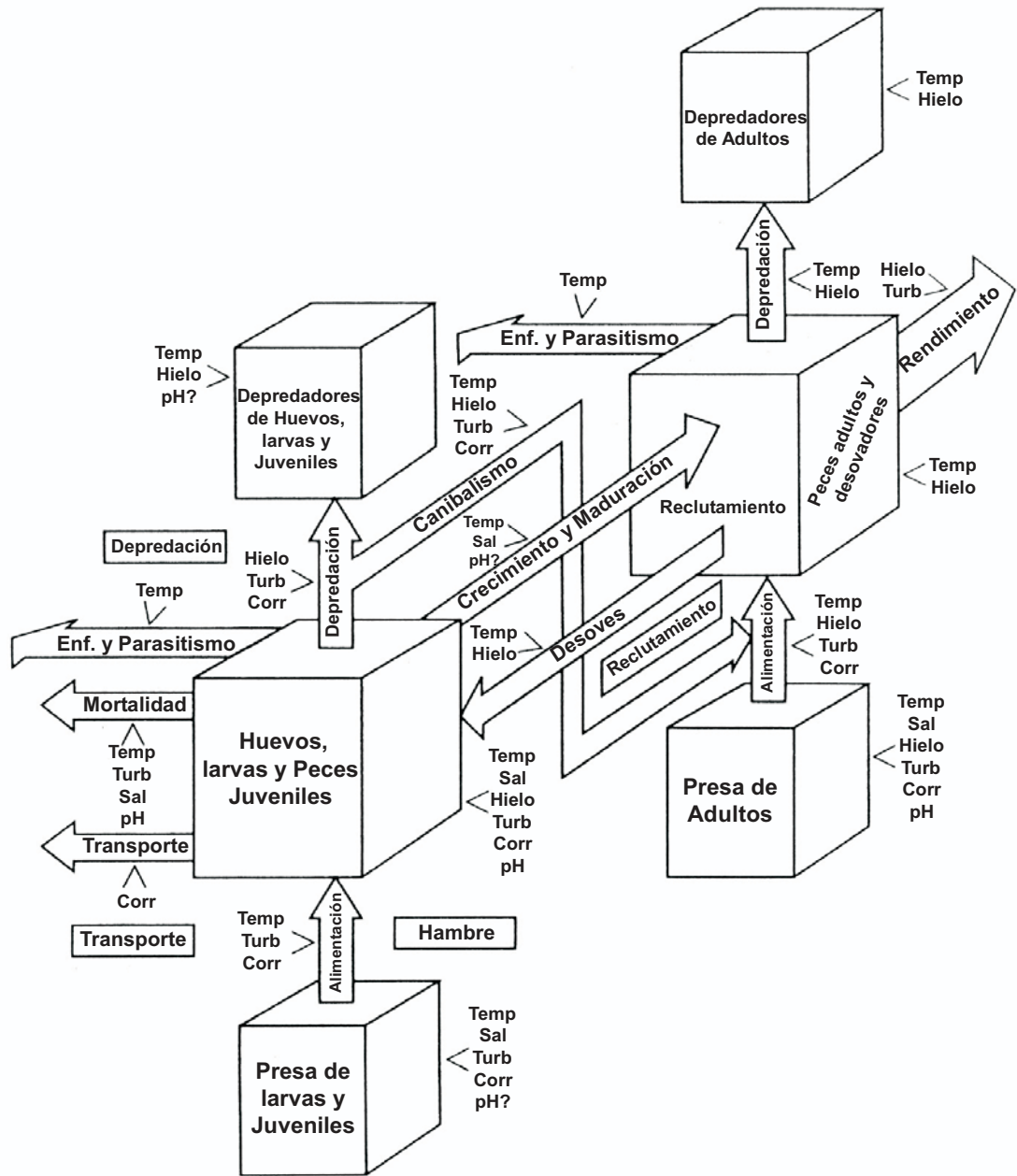
Debido a la naturaleza tan variable del ambiente en el cual están inmersas estas poblaciones, las diversas especies han desarrollado una serie de características en su ciclo de vida que les permite a sus poblaciones minimizar los efectos adversos de la variabilidad medioambiental. Las principales adaptaciones incluyen longevidad, edad de maduración, fecundidad, tamaño corporal, movilidad y diferencias en el tamaño del área geográfica que ocupan (Parrish 1997).

Algunos stock de peces clupeidos desovan en una sola puesta de huevos por año, en un solo sitio y en las mismas fechas cada año (arenque del Pacífico *Clupea pallasii*), mientras que otros lo hacen en 40 puestas por años en muchos sitios (sardina de Sudáfrica *Sardinops ocellata*) básicamente en respuesta a las condiciones más favorables para la sobrevivencia.

Algunas especies maduran muy jóvenes, el tiempo de maduración de sus huevos es solo 24 horas y los liberan sin cuidado parental, moviéndose miles de kilómetros a continuación (macarela *Scomber japonicus*), mientras que otras maduran a mayor edad, son vivíparas, con un largo periodo de incubación (algunos meses) y se mueven muy poco (pez de roca *Sebastes diplopra*).

En formas bastantes diferentes tanto la macarela como el pez de roca tienen características de historia de vida que les permiten a sus poblaciones amortiguar las variaciones ambientales de pequeña escala. Por otra parte, el arenque del Pacífico es probable que sea más afectado por eventos ambientales tanto de pequeña como de gran escala espaciales y temporales (Parrish 1997).





**Figura 33.** Procesos y variables físicas determinantes del tamaño de las poblaciones. Note que en cada fase de desarrollo intervienen diferentes variables ambientales. (Tomado de Glantz 1996).

**Tabla III.** Escalas de peces (ejemplos de la Corriente de California). Tomado de Parrish 1997.

Especie	Edad de maduración (años)	Desovador múltiple	Cuidado parental	Longevidad (años)	Talla máxima (cm)	Movimientos anuales (km)	Area del stock (km)
Anchoveta	1-2	Sí	No	7	22	400	600
Arenque	2-3	no	No	9	40	300?	400
Sardina	1-3	Sí	No	14	34	2000	2500
Macarela	1-2	Sí	No	11	64	2500	3000
Albacora	5-7	Sí	No	15	150	7000	9000
Bocaccio	3-6	no	Sí	40	92	100?	1000
Pez de roca	6-9	no	Sí	80	40	1?	1000

Considerando entonces que las respuestas de las poblaciones a los cambios son individuales, si revisamos el paradigma del periodo crítico (Hjort 1914), uno de los temas más socorridos en la biología pesquera, se puede ver que tiene connotaciones diferentes para diferentes poblaciones en diferentes ambientes. Esta hipótesis se refiere a dos tipos de variabilidad ambiental: primero, patrones de advección pueden dirigir a las larvas hacia áreas inapropiadas para su desarrollo y sobrevivencia. Segundo, la variabilidad en la disponibilidad de alimento cuando absorben su saco vitelino, dependiente a su vez de variabilidad oceánica, puede resultar igualmente en una mortalidad larval variable.

Esta hipótesis a sido retomada y modificada por diversos autores (Hjort 1914, Cushing 1974, Lasker 1975, Sinclair 1988). Para las especies de peces de altas latitudes como los arenques que desovan un solo lote de huevos por año, existe un periodo del año bastante corto y muy preciso en el que deposita sus huevos en un solo sitio. Por otra parte especies más tropicales como las sardinas o macarelas producen muchos lotes de huevos en un periodo relativamente largo (2-3 meses) y en un espacio muy amplio.

Para la primera especie eventos climáticos de escala de días y mesoescala puedan jugar un papel clave en la determinación del reclutamiento, para el segundo caso, es poco probable que estas escalas afecten el reclutamiento, debido a que los productos de desove están distribuidos en mayor área y tiempo (Parrish 1997).

El tratar de entender el estado de una población y sus posibles trayectorias ante las diversas escalas de variabilidad a la que esta sometida es analizar su historia. La representación topológica permite integrar los tiempos con la evolución de los parámetros (Cury 1991). Al estar las poblaciones sujetas a diversos escenarios climáticos (los cuales les pueden ser benéficos, adversos o indiferentes), ante un evento forzante la población deberá tener prioridades, según una estrategia propia de la especie:

a) asegurar crecimiento

- b) asegurar reproducción
- c) asegurar sobrevivencia

Si se invierte energía en la reproducción, va a disminuir el crecimiento, si invierte en la sobrevivencia, va a derivar en poca reproducción (Sheppard *et al.* 1984, Cury 1991). La estrategia demográfica adoptada por la población puede ser óptima para ese grupo de parámetros en cuestión, pero no así para otro grupo. La respuesta es, la mayor parte del tiempo, multifactorial y variable en el tiempo. La acción de las variables ambientales sobre la dinámica del stock no es continua o lineal (Mendelsohn y Cury 1987, Mendelsohn y Mendo 1987, Cury y Roy 1989, Cury 1991).

## **5. ¿CÓMO HEMOS CONSIDERADO ESTA VARIACIÓN EN DIVERSAS ESCALAS EN LAS POBLACIONES?**

La ecología teórica y más generalmente la ciencia teórica relaciona procesos que ocurren en diferentes escalas en tiempo, espacio y complejidad organizacional. Entender los patrones en términos de los procesos que originaron estos es la esencia de la vida y es la clave para el desarrollo de principios para el manejo. Sin un entendimiento de los mecanismos, se debe evaluar cada nuevo estrés en cada nuevo sistema, sin ninguna base científica para extrapolación; con tal entendimiento, uno tiene los fundamentos para entendimiento y manejo.

La reciente identificación de los dramáticos efectos a escala de cuenca y variabilidad decadal en los ecosistemas marinos y la composición de las especies, tales como los pelágicos y el salmón en el Pacífico Norte, han reducido la incerteza que rodea algunas fluctuaciones en los stock de peces (Lluch-Belda *et al.* 1989, Francis y Hare 1994, Spencer y Collie 1997). Sin embargo, en la mayoría de los casos el mecanismo de acoplamiento físico-biológico no ha sido identificado, un paso necesario para una mayor utilización de este entendimiento con fines predictivos.

Debido a que el manejo óptimo y las capturas esperadas pueden variar con el régimen climático, tal conocimiento debe optimizar el manejo (Parma 1990, Francis y Sibley 1991, Steele 1998). Un entendimiento de los mecanismos que resaltan el cambio de régimen es necesario para diferenciar entre causas (Wooster 1997). Tal información puede a sí mismo permitir obtener información sobre los posibles efectos de los cambios climáticos sobre la estructura de los ecosistemas actuales. Efectos físicos en escala de tiempo de semanas y escala espacial de mesoescala tienen el potencial de proveer mejores explicaciones de la variabilidad interanual en la abundancia y distribución de los peces e invertebrados, que los que actualmente se usan en promedios mensuales. Un mejor entendimiento de los efectos de circulación de mesoescala en la dispersión dentro de metapoblaciones costeras (grupos de poblaciones conectadas por dispersión larval), puede proveer información para manejo racional de poblaciones distribuidas a lo largo de la costa (Botsford *et al.* 1997).

En la mayoría de los trabajos que se efectúan en el área pesquera que buscan relaciones medioambientales con alguna variable biológica que concluyen con “no-causalidad” el problema muchas veces radica en el hecho de que no consideramos la combinación de las escalas espaciales y temporales con las que trabajamos, tratando de obtener relaciones tiempo a tiempo entre un evento biológico que fue definido desde 6 meses atrás con la temperatura del mes que estamos trabajando, esto es, queremos que los organismos respondan en años de calendario humano sin tomar en cuenta el año biológico de la especie, las respuestas biológicas no son instantáneas. Este problema principalmente radica en el hecho de que la mayoría de los científico trabajamos en colaboración con colegas de nuestra especialidad, no interdisciplinariamente, como requiere una aproximación de esta naturaleza.

De la misma manera, debemos tener claridad sobre las extrapolaciones que hagamos de las respuestas de las poblaciones, tanto espacialmente, como temporalmente, ya que el proceso de adaptación de las mismas especies a diferentes condiciones ambientales, puede impedir que las relaciones encontradas sean trasladadas a la misma especie en localidades distantes. Por ejemplo, un evento de calentamiento de larga escala puede ser visto como negativo para los individuos de una población distribuida en bajas latitudes (un extremo de su rango de distribución), mientras que puede ser positivo para los individuos de la misma población en altas latitudes. Si se realizaran estudios orientados a procesos de pequeña escala en las dos localidades darían resultados contradictorios para el mismo factor forzante (Parrish 1997).

Otra consideración que habrá que hacer cuando se trabaja en análisis ambiente – recurso es considerar la respuesta de la población, mas que de los individuos, principalmente porque cuando se maneja una pesquería se regula a la población, no a los individuos.

## REFERENCIAS

- Acosta-Posada, C. y M. Enríquez-Daza 2008. Atlas climatológico de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.
- Aebischer, N. J., J.C. Coulson y J.M. Colebrook. 1990. Parallel long trend across four marine trophic levels and weather. *Nature*. 347: 753-755.
- Anderson, J.T. 1988. A review of size dependent survival during pre-recruit stages of fishes in relation to recruitment. *J. Northw. Atl. Fish Sci.* 8: 55-66.
- Angel, V. M. 1992. Long term, large scale patterns in marine pelagic systems. p. 403-439. *In: Aquatic ecology. Scale pattern and process.* Giller P.S., A.G. Hildrew y D.G. Raffaelli (eds). British Ecology Society.
- Anónimo, 1998. Decade-to-Century-Scale Climate Variability and Change: A Science Strategy. Commission on Geosciences, Environment and Resources (CGER). Panel on Climate Variability on Decade-to-Century Time Scales Board on Atmospheric Sciences and Climate Commission on Geosciences, Environment, and Resources National Research Council. National Academy Press Washington, D.C. 146 pp.

- Arrhenius, S. 1903. Lehrbuch der Kosmischen Physik. Vol.2 Hirzel.
- Ashley, G.M. 2007. Orbital rhythms, monsoons, and playa lake response, Olduvai Basin, equatorial East Africa (ca. 1.85-1.74 Ma). *Geology*, 35(12): 1091 – 1094.
- Bakun, A. 1994. Climate Change and Marine populations: interactions of physical and biological dynamics. Workshop on Scope, significance and policy implications of Global Change and marine environment. University of Rhode Island. 14-17 May.
- Ballester, M. y C. González. 1997. Relación entre la actividad solar y la ciclogénesis tropical en el Atlántico Norte. *Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba*. Vol.3, No.1
- Ballester, P. M. y C. González-Pedroso. 2001. Variaciones y tendencias de la actividad ciclónica en el Atlántico Norte. *Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba*. 7 (1): [http://www.met.inf.cu/sometcuba/boletin/v07\\_n01/espanol/art\\_3-1.htm](http://www.met.inf.cu/sometcuba/boletin/v07_n01/espanol/art_3-1.htm)
- Baumgartner, T. R., A. Soutar y B. Ferreir a-Bartrina.1992. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millenia from sediments of the Santa Barbara basin, California. *Calif. Fish. Invest. Rep.* 33:24-40.
- Beamish, R.J. ed. 1995. Climate change and northern fish populations. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 121, 739 p.
- Boden T.A., P. Kanciruk y M.P. Farrel. 1990. TRENDS '90: A Compendium of Data on Global Change (Oak Ridge, Tenn.: Oak Ridge National Laboratory), pp. 1-257.
- Botsford, L.W., J.C. Castilla y C. H. Peterson. 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science* 277: 509-515.
- Caddy, J.F. y J.A.Gulland.1983. Historical pattern of fish stocks. *Mar. Pol.* 7:267-278.
- Charnov, L .E y D. Jerry. 1995. A trade-off invariant life-history rule for optimal offspring size. *Nature*.316: 418-419.
- Charnov, L .E y J. F. Gillooly. 2004. Size and Temperature in the Evolution of Fish Life Histories. *Integr. Comp. Biol.*, 44:494-497.
- Charnov, L .E. 2001. Evolution of mammal life histories. *Evol. Ecol. Res.*, 2001, 3: 521-535.
- Charnov, L. E. 2005. Reproductive effort is inversely proportional to average adult life span. *Evol. Ecol.Res.* 7: 1221-1222.
- Cox, C.B., I.N. Healey y P.D. Moore. 1973. *Biogeography*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Crawford, R. J. M. 1987. Food and population variability in five regions supporting large stocks of anchovy, sardine and horse mackerel. The Benguela and comparable ecosystems. *In: Payne A.I., J.A. Gulland y K.H. Brink (eds). S. Afr. J. Mar. Sci.* 5: 735-757.
- Cronin, M. T. y C. E. Schneider. 1997. Climatic influences on species: evidence from the fossil records. *Trends in Ecol. and Evol.* 5(9): 275-279.

- Cury, P. 1991. Une approche théorique de l'impact de l'environnement sur la pêche. P. 368-376. *In: Pêcheries ouest-africaines. Variabilité, instabilité et changement.* Cury P. y C. Roy (eds.) ORSTON Editions. Paris, Francia 525 p.
- Cury, P. y C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:670-680.
- Cushing, D. H. 1974. The possible density-dependence of larval mortality and adult mortality in fishes. pp. 103-111 *In: The early life history of fish.* J.H.S. Blaxter (ed.). Springer-Verlag, Berlin. Heidelberg, New York.
- Cushing, D.H. 1982. *Climate and fisheries.* Academic Press, London, United Kingdom, 373 pp
- Cushing, D. H. 1990. Plankton production and year class strength in fish populations: an update of the Match/Mismatch Hypothesis. *Adv. Mar. Biol.* 26: 249-293.
- Davis, M.B. 1983. Holocene vegetational history of the eastern United States. pp. 166-181. *In: H.E. Wright, Jr. (ed.) Late-Quaternary environments of the United States. Vol. 2. The Holocene.* Universidad de Minnesota Press, Minneapolis.
- Davis, M.B. 1990. Biology and paleobiology of global climate change: introduction. *Trends in ecol. and evol.* 5(9): 269-275.
- Diamond, J.M. 1975. The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of natural preserves. *Biol. Conserv.* 7: 129-146.
- Dorf, E. 1976. Climatic changes in the past and present. pp 384-412 *In: C.A. Ross (ed.) Paleobiogeography: Benchmark papers in geology 31.* Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, P.A.
- Ebbesmeyer, C.C., D.R. Cayan, D.R. McLain, F.H. Nichols, D.H. Peterson y R.T. Redmond. 1991. 1976 step in the Pacific Climate: forty parameter changes between 1968-1975 and 1977-1984. pp 115-126 *In: Proceeding of the 9<sup>th</sup> Annual Pacific Climate (PACCLIM) Workshop, 1991, Asilomar, California.* J.L. Betancourt and V.L. Tharp, (eds.).Tech. Rep. Interagency Ecol. Studies Prog. Sacramento-San Joaquin Estuary. CL|PACCLIM01ATR|91-26, Cal. Dep. Water Resources, Sacramento.
- Echarri, L.1998. *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente.* Escuela de Ingenieros de San Sebastián. Universidad de Navarra. Ed. Teide. 320 p.
- Edgell, M.C. R. 1984. Trans-hemispheric movements of Holarctic Anatidae: the Eurasian wigeon (*Anas penelope* L.) in North America. *J. Biogeogr.* 11:27-39.
- Farrell, T. M., D. Bracher y J. Roughgarden. 1991. Cross-shelf transport causes recruitment to intertidal populations in Central California. *Limnol. and Oceanog.* 36(2):279-288
- Fowler, H.J., Kilsby, C.G. y P.E. O'Connell. 2003. Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience and vulnerability of a water resource system. *Water Resour. Res.*, 39(8): 1222, doi:10.1029/2002WR001778
- Francis, R.C.C y K.M. Bailey. 1983. Factors affecting recruitment of selected gadoids in the Northeast Pacific and East Bering Sea. P. 35-60 *In: From year to year. Interannual*



- variability of the environment and fisheries of the Gulf of Alaska and the Eastern Bering Sea. W.S. Wooster (ed.). 208 pp.
- Francis, R.C.C.. 1997. Comment: How should fisheries scientists and managers react to uncertainty about stock-recruit relationships?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 982-983.
- Francis, R.C.C. y S.R. Hare. 1994. Decadal-scale regime shifts in the large marine ecosystems of the north-east Pacific: a case for historical science. *Fish. Oceanogr.* 3: 279-291.
- Francis, R.C.C. y T. Sibley. 1991. Climate change and fisheries: what are the real issues?. *Northw. Env. J.* 7:295-307.
- Fritts, C.H. 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. A diagnostic analysis. The University of Arizona Press. Londres 286 pp.
- Futang, W y Z. Zong-Ci. 1995. Impact of climate change on natural vegetation in China and its implication for agriculture. *J. Biogeogr.* 22: 657-664.
- García, L.L. A.1987. El sistema solar. Colección ciencia imágenes de la naturaleza. UNAM. 134 pp.
- Gates, M.D. 1993. Climate change and its biological consequences. Sinauer Associates Inc. 48-61 pp.
- Gilbert, D.J. 1997. Towards a new recruitment paradigm for fish stocks. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 969-977.
- Glantz, H.M. 1996. Currents of change. El Niño's impact on climate and society. Cambridge University Press. 194 p.
- González, D. J. 1987. El sol. Colección ciencia imágenes de la naturaleza. UNAM 81 pp.
- Graham, R. W. 1986. pp 300-313. *In*: Diamond J. y Case T. (eds) Community ecology, Harper & Row.
- Graham, R. W. T, E.L. Lundelius Jr. 1984. pp 223-249. *In*: Martin P.S. y Klein R.G. (eds). Quaternary extinctions. Universidad de Arizona Press
- Graham, R. W. y E. C. Grimm 1990. Effects of global climate change on the patterns of terrestrial biological communities. *Trends in ecol. and evol.* 5(9): 289-292.
- Gran, H.H. 1931. On the conditions for the production of plankton in the sea. *Rapp. P-v Reun. Cons. perm. int. Explor. Mer.* 75:37-46.
- Gray, W.M., C.W. Landsea, P.W. Mielke, Jr. y K.J. Berry. 2000. Early April forecast of Atlantic Hurricane activity and US landfall strike probabilities for 2000. <http://tropical.atmos.colostate.edu/forecasts/index.html>
- Greenland, D. 1997. Variability and stability of climatic/oceanic regimes in the Pacific Northwest. *In*: The Pacific Northwest coastal ecosystems study (PNCERS). University of Geography.

- Haury, L.R., J.A. McGowan y P.H. Wiebe. 1977. Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. pp. 277-328. *In: Spatial pattern in plankton communities.* Steele J. (ed.). Nato Conference series 3: 470 p.
- Hilborn, R. 1997. Comment: Recruitmant paradigms for fish stocks. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 984-985.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe reviewed in the light of biological research. *ICES Rapp. Proc. Verb.* 20:1-228.
- Hoffman, E.E. y T.M. Powell. 1998. Environmental variability effects on marine fisheries: four case histories. *Ecol. applic.* 8(1): 523-532.
- Holt, R.D. 1990. The microevolutionary consequences of climate change. *Trends in ecol. and evol.* 5(9): 311-315.
- Horton, W.R., R.F. Shaw, C. Joseph y M. C. Benfield. 1996. Coastal ocean-estuarine physical forcing as a brown shrimp (*Penaeus aztecus*) recruitment enhancement mechanism. *In: Taller internacional de Evaluación de Pesquerías de crustáceos tropicales.* Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México 29-31 de agosto.  
<http://www.ideam.gov.co/files/atlas/Contenido.htm>
- Huber, T. B. 1998. Enhanced: tropical paradise at the cretaceous poles? *Science* 282(5397): 2199-2200.
- Huntley, B. Y. Webb T. 1989. III. Migration: species' response to climatic variations caused by changes in the Earth's orbit. *J. Biogeogr.* 16: 5-19.
- IPCC, 2001. Summary for Policymakers. *In: Climate Change 2001. Contribution of Working Group I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Watson R. (ed)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. *In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jaworowski, Z. 2004. Los ciclos solares, no el CO<sub>2</sub>, determinan al clima. 21st Century. *Science & Technology.* Winter 2003-2004. 52-65 pp.
- Jaworowski, Z. 2007. CO<sub>2</sub>: The greatest scientific scandal of our time. 21st Century. *Science & Technology.* Spring-Summer 2007.14-28 pp
- Kaustuv, R., J.W. Valentine, D. Jablonski y S. M. Kindwell. 1996. Scales of climate variability and time avering in Pleistocene biotas: implications for ecology and evolution. *Trend in Ecol.and evol.* 11(11): 458-462.

- Kawasaky, T. y M. Omari. 1988. Fluctuations in the three major sardine stocks in the Pacific and global trend in mean temperature. pp 273-290. *In: Int. Symp. on long term changes in marine fish populations*, Vigo, España. T. Wyatt and M.G. Larrañeta (eds).
- Krebs, J.C. 1985. *Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia*. Harper & Row Publ. 753 p.
- Labitzke, K. y H. Van Loon. 1988. Association between the 11 year solar cycle, the QBO and the atmosphere. I. The troposphere and stratosphere in the Northern Hemisphere in winter. *J. Atmos. Terr. Phys.* 50: 197-206.
- Laevastu, T. y M.L. Hayes. 1981. *Fisheries oceanography and ecology*. Fishing News Books Ltd Great Britain. 110-145 p.
- Lam, T.J. 1983. Environmental influences on gonadal activity in fish. pp. 65-116. *In: Fish physiology*. Vol. IX parte b. Reproduction. Hoar W.S., D.J. Randall y E. M. Donaldson (eds). Academic Press. Londres.
- Landscheidt, T. 1999. Solar activity: a dominant factor in climate dynamics. [www.microtech.com.au/daly/solar/solar.htm](http://www.microtech.com.au/daly/solar/solar.htm).
- Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *Fish. Bull.* 73(3):453-462.
- Lasker, R. 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California Current: identification of factors contributing to recruitment failure. *Rapp. P-v Reun. Cons. perm. int. Explor. Mer.* 173:212-230.
- Lau, K.M. y H. Weng. 1999. Interannual, decadal-to-interdecadal and global warming signals in sea surface temperature during 1955-1997. *J. Climate* 12 (5):1257-1267.
- Lavin, M.F., E. Beier E. y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual. pp. 139-169. *In: Contribuciones a la oceanografía física de México*. Lavin M.F. (ed.). Monografía 3 UGM.
- Leakey, R. y L. Rogers 1996. *The sixth extinction. Patterns of life and the future of human kind*. Doubleday. 270 pp.
- Levin, A.S. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecol.* 73 (6):1943-1967.
- Lluch-Belda D., R.J. M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. Mac Mall, R.H. Parrish, R.A. Sckwartzlose y P.E. Smith. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 8: 195-205.
- Lluch-Belda D., S. Hernández, D.B. Lluch y C. Salinas. 1992. La variación oceánica interanual en el marco del cambio global. *Ciencia* 43: 139-144.

- Lluch-Belda D. 1976. Aplicación de modelos poblacionales a la pesquería de camarón: Una evaluación resumida. *In: Memorias del Simposio sobre biología y dinámica poblacional de camarones*. INP. 8-13 de agosto Guaymas, Son México.
- Mann, H.K. y J.R.N. Lazier. 1996. *Dynamics of marine ecosystems*. Blackwell Sci. 394 pp.
- Mann, K.H. 1992. Physical influences on biological processes: how important are they? pp. 107-121. *In: Benguela trophic functioning*. Payne, A.I.L., K.H. Brink, Mann K.H. y R. Hilborn (Eds). S. Afr. J. mar. Sci. 12:107-121.
- Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace, y R.C. Francis. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. of the Amer. Meteorological Soc.* 78(6):1069-1079.
- Mayr, E. 1970. *Populations, species and evolution. An abridgment of animal species and evolution*. Harvard University Press, Londres Inglaterra. 453 pp.
- McCleave, J.D., G.P. Arnold, J.J. Dodson y W.H. Neill, (eds). 1984. *Mechanisms of migration in fishes*. Plenum Press, New York. 574 p.
- McGowan, J. 1990. Climate and change in oceanic ecosystems: the value of time-series data. *Tree* 5 (9): 293-299.
- McGowan, J. 1996. Plankton patterns, climate, and change in the California Current. *CalCOFI Rep.* 34: 46-68.
- McLain, D.R., R.E. Brainard y J.G. Norton. 1985. Anomalous warm events in eastern boundary current systems. *Rep. Calif. Coop. Oceanic.Fish. Invest.* 26:51-64.
- Medina, M. 1976. *Meteorología básica sinóptica*. Paraninfo, España. 320 pp.
- Mendelssohn, R. y P. Cury. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivorian coastal pelagic species and associated environmental conditions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 408-421.
- Mendelssohn, R. y J. Mendo. 1987. Exploratory analysis of anchoveta recruitment off Peru and related environmental series. pp. 294-306. *In: D. Pauly y Tsukayama (eds). The peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: Three decades of change*. ICLARM Studies and reviews 15. Instituto del Mar de Peru (IMARPE), Callao, Peru, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, República Federal de Alemania y International Center for Living Resources Management (ICLARM), Manila, Phillipines. 251 pp.
- Merrefield M.A. y C.D. Winant. 1989. Shelf circulation in the Gulf of California: A description on the variability, *J. Geophys. Res.* 94 (c12) 18133-18160.

- Miller, D. 1998. Range management and pastoralism. New perspectives and their implications. ICIMOD Newsletter 27: 1-4.
- Myers, R. A. 1997. Comment and reanalysis: paradigms for recruitment studies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 978-981.
- Myers, R. A. y N. Barrowman. 1996. Is fish recruitment related to spawner abundance? *Fish. Bull.* 94:707-724.
- Naranjo-Díaz, L. 2008. El Clima a través de la historia. Variabilidad Climática. <http://lino.naranjosite.com/web1/doc/Variabilidad.pdf>
- Nielson, R.P. 1986. High resolution climatic analysis and southwest biogeography. *Science* 232: 27-34.
- Odum, E. 1971. *Ecología*. Interamericana, México. 639 pp.
- Pares Sierra, A. 1997. Variabilidad a diferentes escalas en el Pacífico Mexicano, *In*: M. F. Lavín Editor,. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Monografía No.3., Unión Geofísica Mexicana.
- Parma, A. M. 1990. Optimal harvesting of fish population with non-stationary stock-recruitment relationship. *Nat. Res. Mod.* 4:39-76.
- Parrish, H. R. 1997. Time, space and fish scales: applications of retrospective environmental data to fisheries research. pp. 25-29. *In*: *Changing oceans and changing fisheries: environmental data for fisheries research and management*. Boehlert G.W. y J.D. Schumacher (eds). *Proceeding of a workshop held 16-18 July, 1996 Pacific Grove, California.* p.
- Parrish, R.H., C.S. Nelson y A. Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current . *Bio. Oceanogr.*, 1: 175-203.
- Parry, M.L. J.H. Portes y T.R. Carter. 1990. Agriculture: climatic change and its implications. *Trends in ecol. and evol.* 5(9): 318-322.
- Parson, R.T. y M. Takahashi. 1973. *Biological oceanographic processes*. Pergamon press. 186 pp.
- Peters, R.L. y J.D.S. Darling. 1985. The greenhouse effect and nature reserves. Global warming would diminish biological diversity by causing extinctions among reserve species. *BioScience* 35 (11): 707-717.
- Pineda, J. 1994. Internal tidal bores in the near shore: water fronts, seaward gravity, currents, and the on shore transport of neustonic larvae. *Jour. Mar. Res.* 52:427-458.
- Pitcher, J.T. y P.J.B. Hart. 1982. *Fisheries ecology*. Billing & Sons Ltd, Worcester. Gran Bretaña 414 pp.

- Platt, T. y S. Sathyendranath. 1992. Scale, pattern and process in marine ecosystems. p. 593-599 *In: Aquatic ecology. scale, pattern and process.* Giller P.S., A.G. Holdrew y D.G. Raffaelli. (eds). British Ecological Society.
- Podladchikova, T., B. Lefebvre y R. A. M. Van der Linden. 2008. Integral activity of the declining phase of sunspot cycles as precursor of the next cycle. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 70: 277--284.
- Polovina, J.J. 1996. Decadal variation in the trans-Pacific migration of northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coherent with climate-induced change in prey abundance. *Fish. Oceanog.* 5:114-119.
- Polovina, J.J., G.T. Mitchum, N.E. Graham, M.P. Craig, E.E. De Martini y E.N. Flint. 1994. Physical and biological consequences of a climate event in the central North Pacific. *Fish.Oceanog.* 3: 15-21.
- Ribee, Joaquín. 2001. Cambio Climático: ¿Qué está pasando en el océano?. *Ciencia al día Internacional.* 4 (2): 1-18.
- Root, L.T. y H.S. Schneider. 1995. Ecology and climate: research strategies and implications. *Science* 269: 334-341
- Rothlisberg, P.C., J.A Church y C.B. Fandry. 1995. A mechanism for near-shore concentration and estuarine recruitment of post-larval *Penaeus plebejus* Hess (Decapoda, Penaeidae). *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 40(2): 115-138.
- Rothschild, B.J. y S.L. Brunenmeister. 1984. The dynamic and management of shrimp of the northern Gulf of México. *In: Penaeid shrimp- their biology and management.* Gulland J.A. y R.J. Rothschild (eds). Fishing New Books.
- Rothschild, B.J. y T.R. Osborn. 1988. The effects of turbulence on planktonic contact rates. *J. Plankton Res.* 10: 465-474.
- Sánchez-Santillán, N., M. Signoret-Poillon y R. Garduño-López. 2006. La Oscilación del Atlántico Norte: un fenómeno que incide en la variabilidad climática de México. *INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII* (2): 85-95.
- Schluter, D. 1998. Selection and variability innatural populations. *In: Genetic effects on straying of non-native hatchery fish into natural population.* NOAA Tech. Mem. NMFS NWFSC-30.
- Shannon, L.V. y S.C. Pillar. 1986. The Benguela ecosystem. 3. Plankton. pp. 65-170. *In: Oceanography and marine biology. An annual review.* 24. Barnes M. (ed.). University press.



- Sharp, G.D. 1978. Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on the vulnerability to fishing gear. pp. 397-449. *In*: The physiological ecology of tunas. G.D. Sharp y A.E. Dizon (eds). Academic Press, San Francisco
- Shepherd, J.G., J.G. Pope y R.D. Cousens. 1984: Variations in fish stocks and hypotheses concerning their links with climate. *Rapports et proces-verbaux des reunions, Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 185, 255-267.
- Shin'Ichi, Sato. 1999. Genetic and environmental control of growth and reproduction of *Phacosoma japonicum* (Bivalvia:Veneridae). *The veliger* 42(1): 54-61.
- Shriner, S.D. y R.B. Street. 1998. Food and fiber: fisheries and aquatic systems. pp. 1-15 *In*: The regional impacts of climate change. An assessment of vulnerability. A special report by the Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC) Watson R.T., M.C. Zinyowera y R:H. Moss (ed.).
- Sinclair, A.R.E. 1988. Population regulation in animals. pp. 197-241. *In*: Ecological concepts. The contribution of ecology to an understanding of the natural world. J.M. Cherrett (ed.). Blackwell Sci. Publ. London.385 pp.
- Sinclair, M. M.J. Tremblay y P. Bernal. 1985. El Niño events and variability in a Pacific mackerel (*Scomber japonicus*) survival index: support for Hjort's second hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42(3):602-608.
- Smith, E. P. 1978. Biological effects of ocean variability: time and space scales of biological response. *Rapp. P. V Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 173: 117-127.
- Soon, W.y S. Baliunas, 2003. "Proxy Climatic and Environmental Changes of the Past 1,000 Years," *Clim. Res.*, 23: 89-110.
- Soutar, A. Y J.D. Isaacs. 1974. Abundance of pelagic fish during the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century as a recorded in anaerobic sediment off the Californias. *Fish. Bull.* 72:257-273.
- Spencer, P.A. y J.S. Collie. 1997. Patterns of population variability in marine fish stocks. *Fish. Oceanogr.* 6(3): 188-204.
- Spicer, R.A. y J.L. Chapman. 1990. Climate change and the evolution of high-latitude terrestrial vegetation and floras. *Trends in ecol. and evol.* 5(9): 279-284.
- Steele, J.H. 1985. A comparison of terrestrial and marine ecological systems. *Nature* 313 (6001): 355-358.
- Steele, J.H. 1988. Scale selection for biodynamic theories. p. 513-526 *In*: Toward a theory on biological-physical interactions in the world ocean. Rothschild B.J. (ed.) Serie C matemataical and physical science. Vol. 239. Kluwer academic publishers. 650 p.
- Steele, J.H. 1998. Regime shifts in marine ecosystems. *Ecolog. applic.* 8(1): S33-S36.

- Stommel, H. 1963. Varieties of oceanographic experience. *Science* 139: 572-576.
- Tarduno, J.A., D.B. Brinkman, P.R. Renne, R.D. Cottrell, H. Scher y P. Castillo. 1998. Evidence for extreme climatic warmth from late cretaceous arctic vertebrates. *Science* 282(5397): 2241-2243.
- Thunell, R. 1996. Continental margin particle flux. Seasonal cycles and archives of global change. *Oceanus* 40(2): 20-23.
- Turner, D.F. y R.E. Boesch. 1988. Aquatic animal production and wetland relationship: insights gleaned following wetland loss or gain. pp. 25-39. *In: The ecology and management of wetlands. Vol. I. Ecology of Wetlands.* Hook D.D., W.H. McKee, H.K. Smith, J. Gregory, V.G. Brunell, M.R. Hook, R.E. Sojka, S. Gilbert, R. Banks, L.H. Stolzy, C. Brooks, T.C. Matthews y T.H. Shear (ed.). Portland, OR: Timber Press.
- Uriarte, Cantolla Antón. 2003. Historia del Clima de la Tierra. 1º edición, 2003, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 306 p.
- Van Devender, T.R. y W.G. Spaulding. 1979. Development of vegetation and climate in the southwestern United States. *Science* 204: 701-710.
- Van Winkle, W., K. Rose, B. Shutter, H. I. Jager y B. D. Holcomb. 1997. Effects of climatic temperature change on growth, survival, and reproduction of rainbow trout: prediction from a simulation model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 2526-2542.
- Vargas, C.H., L. Tapia, R. Thommann, A. Aguilera y M. Jiménez. 1985. Efectos del fenómeno El Niño en la agricultura en los valles de Arica, Chile. *Invest. Pesq.* 32:207-213.
- Venrick, E.L., J.A. McGowan, D. Cayan y T.L. Hayward. 1987. Climate and chlorophyll a: long-term trends in the Central North Pacific Ocean. *Science* 238: 70-72.
- Walsh, J.J. 1978. The biological consequences of interaction of the climatic, El Niño, and event scales of variability in the Eastern tropical Pacific. *Rapp. P. V Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 173: 182-192.
- Ware, D.M. 1975. Relation between egg size, growth and natural mortality of larval fish. *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 2503-2512.
- Warrick, R. y G. Farmer. 1990. The greenhouse effect, climatic change and rising sea level: implications for development. *Trans Inst. Br. Geogr.* 15: 5-20.
- Webb, K.L. y C.F. D'Elia. 1980. Nutrient and oxygen redistribution during a spring neap tidal cycle in a temperate estuary. *Science*. 207 (4434): 983-985.
- Wooster, W. 1997. Review of the state of world fishery resource: marine fisheries. *In: FAO Fisheries circular No. 920. FIRM/C920. Rome.* 173 p.

- Xie, L. Y W.W. Hsieh. 1989. Predicting the return migration routes of the Fraser River sockeye salmon (*Onchorhynchus nerka*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46(8):1287-1292.
- Yamanaka, H. 1985. Effect of El Niño en fish migration and yield in the western Pacific Ocean. *In: International Conference on the TOGA Scientific Programme, Paris, September 1984. World Climate Research Programme Publication Series. 4:VI-16-VI-22.*
- Yapp, C.J. y H. Poths. 1992. Ancient Atmospheric CO<sub>2</sub> Pressures Inferred from Natural Geothites. *Nature* 355( 23): 342-344.

## **SECCIÓN II**

### **PESQUERÍAS Y AMBIENTE**

# **IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS PESQUERÍAS DE LA ZONA DE TRANSICIÓN TEMPLADO-CÁLIDA DEL PACÍFICO ORIENTAL MEXICANO**

*Ernesto A. Chávez y José Luis Castro-Ortiz*

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. A.P. 592 La Paz, Baja California Sur 23000. México.

e-mail : echavez@ipn.mx

## **RESUMEN**

Se examinan los patrones de variabilidad de poblaciones explotadas y su posible relación temporal con el cambio climático en la cuenca del Pacífico oriental. Las grandes variaciones sincrónicas en la escala de décadas se han observado en once pesquerías del oeste de México, donde las variaciones en la abundancia no parecen ocurrir al azar. Se examina la respuesta de las capturas en el contexto de varios índices del cambio climático. Diez de los grupos de especies son tropicales; otros seis son de afinidad templada. Los datos de las capturas fueron transformados como variables normalizadas para eliminar el factor de escala, y fueron analizados y se establecieron correlaciones con respecto a los índices del cambio climático. En algunos casos se encontraron altas correlaciones, lo que sugiere una fuerte influencia del clima. Se identifican tres principales modelos de cambio climático y sus efectos sobre la pesca: 1. Una respuesta al cambio a mediados de los años setenta (seis poblaciones), donde la captura de cinco poblaciones muestra una respuesta positiva; 2. Un cambio a finales de los años ochenta, caracterizado por una moderada respuesta negativa y luego una brusca respuesta con aumentos espectaculares en las capturas (cuatro poblaciones); y 3. Cambios en la biomasa de las existencias en respuesta al efecto El Niño-La Niña, también con temperaturas más cálidas que lo normal, seguidas por períodos fríos, se producen cada cinco a siete años (cuatro poblaciones). Aún no está clara la relación de causa y efecto relacionada con estos cambios. La implicación de estos efectos en el manejo de las pesquerías lleva a sospechar que el cambio climático puede tener mayor influencia en el tamaño de algunas poblaciones que la aplicación de cualquier regulación para su manejo. Un examen comparativo de estos resultados con estudios realizados en otros lugares nos llevan a sospechar que el cambio climático que está ocurriendo, podría estar induciendo algún cambio en la productividad a gran escala, provocado por cambios climáticos de períodos largos, con una disminución de la productividad en las altas latitudes acompañado por el aumento sincrónico en latitudes bajas. De confirmarse esta hipótesis, podría estar ocurriendo un proceso de mantenimiento alterno del equilibrio de la productividad a gran escala geográfica de la cuenca del Océano Pacífico en el largo plazo.

## **INTRODUCCIÓN**

Existe la creencia de que el impacto del cambio climático sobre las pesquerías se produce a muy largo plazo. Sin embargo, cambios climáticos abruptos han sido descubiertos en los últimos años. Estos bruscos cambios han tenido gran influencia en los ecosistemas en todo el mundo (Beamish *et al.* 1999, Klyashtorin 2001). La respuesta de muchas poblaciones

explotadas al cambio climático parece ser un fenómeno mundial. Sólo el fenómeno de El Niño u oscilación del Sur (ENSO), cuyas oscilaciones tienen un período de cinco a siete años, se ha reconocido desde hace varias décadas, como responsable de un impacto significativo en algunas pesquerías del oeste de América, especialmente la anchoveta peruana. Esta respuesta no es la misma en todos los casos, algunas especies responden con signo e intensidad diferente a los cambios de régimen. El análisis de la respuesta de la pesca en el contexto del cambio climático está limitado a los cincuenta años que abarcan los registros de datos de las capturas. Estos datos se utilizan como índices proporcionales a los tamaños de las poblaciones, dado que se acepta que son el reflejo de sus cambios de tamaño (Lluch-Belda *et al.* 1989, Klyashtorin 2001).

La teoría sobre la evaluación de las poblaciones de peces presupone que sus biomásas han sido limitadas por la capacidad de carga del ecosistema donde habitan, y que ha sido relativamente constante a través del tiempo. Sin embargo, el problema científico consiste en separar las causas naturales de las antropogénicas responsables de la variabilidad (Steele, 1998). Una capacidad de carga constante implica en la población que las tasas relativas entre el número de adultos y el de reclutas han sido más o menos constantes durante largos períodos de tiempo y que la mortalidad por pesca es la principal causa de los cambios en el tamaño de las poblaciones. Se percibe intuitivamente la influencia del ambiente en especies de corta vida como la sardina y la anchoveta y los tamaños de estas poblaciones con propósitos de pronóstico, son difíciles de evaluar por los modelos tradicionales aplicados a la pesca, debido a sus elevadas tasas de mortalidad natural y sus cambios repentinos en la tasa de reclutamiento, en eventos asociados a gran incertidumbre. Esta aparente relación ha estimulado los esfuerzos recientes para analizar el posible efecto de los cambios climáticos con enfoques más detallados (Lluch-Belda *et al.* 1993, Lluch-Cota *et al.* 1997, Schwartzlose *et al.* 1999, Klyashtorin 2001).

Existe la creencia de que la relativa estabilidad del ambiente tropical no es muy susceptible a mostrar con claridad los efectos del cambio climático en la mayoría de las pesquerías. Por lo tanto, la respuesta de las principales pesquerías explotadas del oeste de México se examina aquí en el contexto de varios índices del cambio climático, con la intención de identificar su respuesta con respecto a esos cambios, o tal vez cambios en la productividad inducida por cambios climáticos (MacCall 1996, Beamish *et al.* 1999), aunque los mecanismos todavía siguen sin estar claros, como ocurre con la Oscilación Decadal del Pacífico (Hare y Mantua 2000). La mayoría de las pesquerías examinadas en este documento incluyen especies tropicales, pero algunos pertenecen a las aguas templadas del noroeste de México.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### *Índices del cambio climático.*

Los índices describen los atributos principales del clima y los procesos oceánicos que ocurren en estos sistemas, por lo que parecen ser una buena manera de probar sus efectos sobre los sistemas biológicos. Todos los índices disponibles se pusieron a prueba y los



resultados fueron similares en todos los casos; sin embargo, el Índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDOI) y el Índice de la Oscilación del Sur (SOI) se utilizaron para los análisis descritos en este documento. Además, los registros de las capturas pesqueras son la más accesible fuente de información disponible y se utilizaron para tratar de entender la naturaleza y la intensidad de los impactos sobre las poblaciones explotadas.

### *Las pesquerías*

Los datos de captura registrados por casi cincuenta años (FAO 2000) se utilizaron para explorar el impacto del cambio climático sobre las pesquerías. Dieciséis poblaciones del oeste de México fueron seleccionadas. En general, la biomasa capturada es de 511,000 toneladas métricas (promedio para los años 1995-1999) y los desembarques de estas pesquerías representan el 54% del total de las capturas del país (Fig. 1).

Diez de las especies examinadas aquí son tropicales: camarones, pargos, cangrejos, jureles, tiburones-rayas (en este caso se refiere solo a los tiburones), meros, barrilete, calamar gigante, lisas y caballa. Otros seis son de afinidad templada, que van hacia el norte de la isoterma de 20 °C: abulón, sardina de California, anchoveta norteña, langosta, algas pardas y algas rojas.

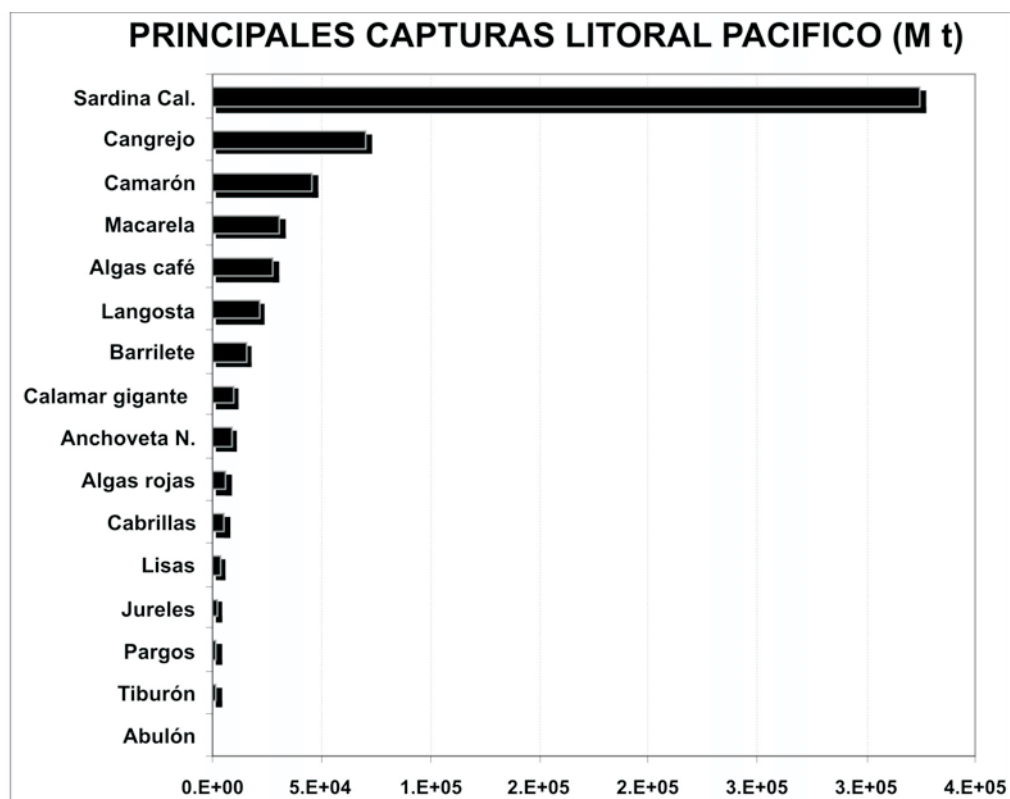
Entre estas poblaciones, hay algunos cuyos cambios repentinos de un año a otro son bien conocidos, como los de la sardina de California y la anchoveta norteña, que son organismos de vida corta (3 a 5 años). Otras especies altamente variables son el camarón y el calamar gigante, que tienen ciclos de vida anual. El primero de ellos es típicamente tropical, pero el calamar gigante se distribuye cerca de los límites norte y sur del cinturón tropical, con probable continuidad en su distribución en aguas profundas del cinturón tropical.

*Análisis de datos.* Los datos de captura de cada pesquería se transformaron como desviaciones normales y las series de datos resultantes se utilizaron como variable dependiente en análisis de regresión múltiple. Los índices climáticos fueron analizados para probar el impacto a largo plazo del clima y en todos los casos la respuesta fue la misma, por lo que el PDOI se utilizó como variable independiente para mostrar el cambio de los años setenta y en algunas de las pesquerías el cambio de finales de los años ochenta. De esta manera se muestran los patrones decadales asociados a aumentos o descensos en la biomasa de las poblaciones y estos cambios se expresan como respuesta al cambio climático en once de las poblaciones examinadas. La influencia del clima a corto plazo, se muestra con el SOI en otras cinco poblaciones.

## **RESULTADOS**

*El cambio climático y la pesca.* La característica más notable de los índices del cambio climático es que muestran el cambio que se produce a mediados de los años 70. Al examinar las tendencias de las desviaciones normales de las capturas, se identifican tres principales pautas de cambio, la primera es una respuesta al cambio a mediados de la década de los años 70 (Fig. 2 A). Otro grupo muestra un cambio a finales de los años 80, con un aumento importante de sus biomásas después del cambio (Fig. 2 B). El tercer grupo

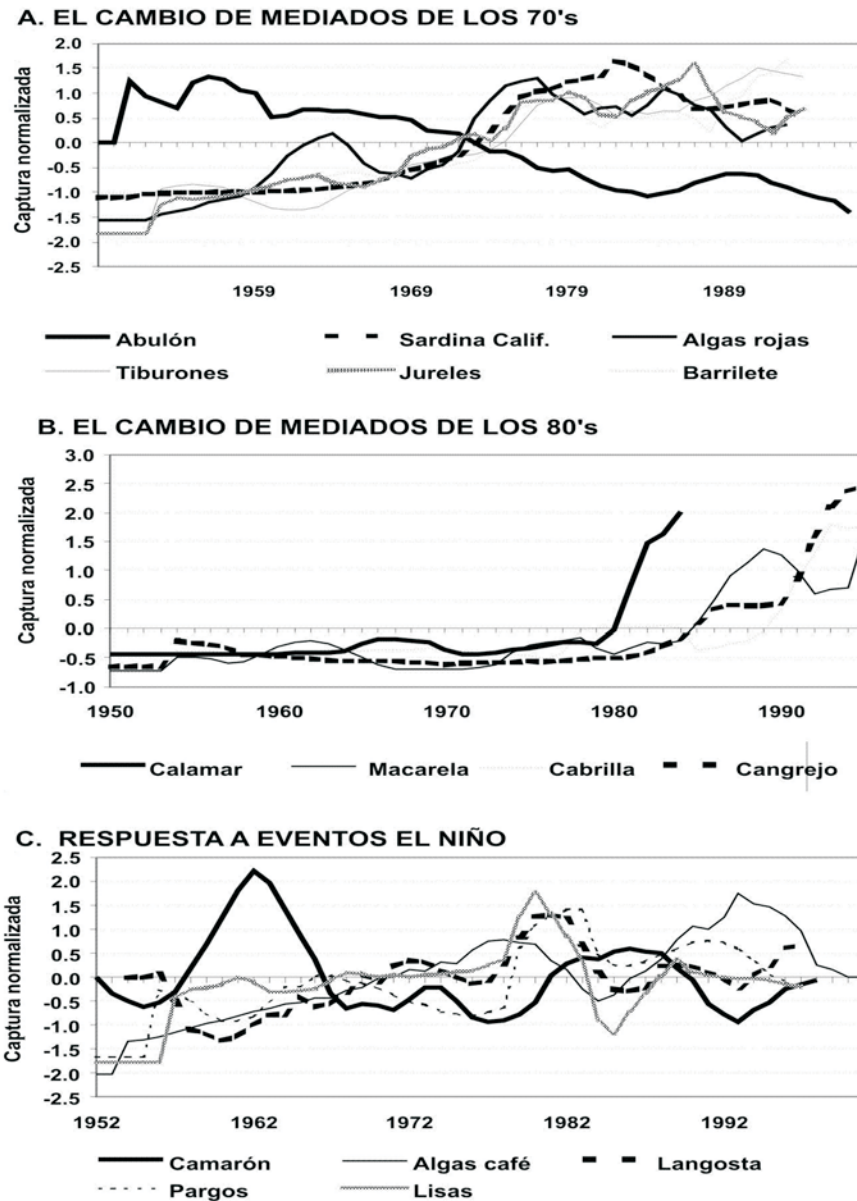
incluye la captura de especies que, al parecer, responden al fenómeno de El Niño, pero su respuesta también puede mostrar los efectos de otros patrones climáticos (Fig. 2 C).



**Figura 1.** Datos de captura (en toneladas), de las principales pesquerías del Pacífico mexicano para el período 1995-1999.

Aparte de los jureles, el atún listado y la caballa, que son activos depredadores de la zona nerítica o habitan en el océano abierto, las existencias de las poblaciones restantes pertenecen a especies de larga vida asociadas a los fondos de la plataforma continental. Todos ellos, excepto las algas constituyen el primero o segundo nivel de depredadores. Por lo tanto, porque son especies con estrategia adaptativa de tipo K, o sea, especies dependientes de la densidad, la influencia del cambio climático se espera que sea menos evidente. Por lo tanto, cualquier respuesta de su biomasa tendría lugar a largo plazo, dado que el efecto más probable del cambio climático debería darse en sus tasas de reclutamiento y así podrían transcurrir algunos años para poder observar estos efectos en los datos de las capturas.

*Respuesta al cambio de mediados de los años setenta.* Los datos de captura de seis poblaciones pesqueras muestran respuesta significativa al cambio climático observado a mediados de los años 70. Ellos son el abulón, la sardina de California, los jureles, los tiburones, el barrilete y las algas rojas (Fig. 3<sup>a</sup>-f).



**Figura 2.** Tendencias de las desviaciones **normales** de datos de captura: A. Respuesta al cambio a mediados los años 70, B. Respuesta al cambio de finales de los años ochenta, C. Respuesta a los eventos del fenómeno de El Niño.

En estos casos, las tendencias se aproximan a la captura media, entre 1974 y 1980. El impacto del PDOI muestra fuerte correlación tal y como se muestra en la Tabla I, donde también se muestran las ecuaciones de regresión múltiple.

La respuesta del abulón al cambio climático se expresa como niveles de biomasa muy altos durante los años sesenta, pasando a cifras de uno y dos órdenes de magnitud mas

bajos que en el volumen de la población capturada, en el transcurso de treinta años. Esta tendencia no ofrece una esperanza para la recuperación de su biomasa en el corto plazo para alcanzar los volúmenes de la captura observados cuarenta años antes. Las otras seis poblaciones explotadas de este grupo exhiben una respuesta en sentido opuesto con respecto al cambio climático. De este grupo, la sardina de California y el barrilete sostienen importantes pesquerías en nuestros días, cuya captura asciende a más de 350,000 t.

**Tabla I.** Ecuaciones de ajuste polinomial que establecen la relación entre A) el Índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDOI) o B) el Índice de la Oscilación del Sur (SOI), con respecto a las desviaciones normales de los datos de las capturas de las principales pesquerías del oeste México. En el caso de las lisas, se utilizó un retraso de seis años entre las variables.

A) Variable independiente: <b>PDOI</b>		
VARIABLE DEPENDIENTE	ECUACIÓN POLINOMIAL	R <sup>2</sup>
Abulón	$y = 6E-05x^3 - 0.0042x^2 + 0.0165x + 1.0542$	0.93
Sardina California	$y = -0.0002x^3 + 0.0177x^2 - 0.3143x + 0.4158$	0.93
Jurel	$y = -0.0001x^3 + 0.0081x^2 - 0.0427x - 1.2097$	0.91
Tiburón	$y = -0.0001x^3 + 0.0095x^2 - 0.1108x - 0.7672$	0.94
Barrilete	$y = -4E-05x^3 + 0.0035x^2 - 0.0188x - 0.9735$	0.86
Algas rojas	$y = -9E-05x^3 + 0.0034x^2 + 0.0576x - 1.5151$	0.79
Cangrejos	$y = 0.0002x^3 - 0.0067x^2 + 0.0641x - 0.5446$	0.96
Cabrilla	$y = 0.0003x^3 - 0.0143x^2 + 0.1708x - 0.8709$	0.86
Calamar gigante	$y = 3E-05x^3 + 6E-05x^2 - 0.0161x - 0.4293$	0.80
Macarela	$y = 3E-06x^5 - 0.0002x^4 + 0.006x^3 - 0.0497x^2 + 0.1079x - 0.6567$	0.86
Anchoveta Norteña	$y = 0.0001x^3 - 0.0073x^2 + 0.1078x - 0.7867$	0.85

Se caracterizan por una moderada respuesta negativa antes de 1989. En este año, el cambio climático provoca una abrupta respuesta de los rendimientos, dando lugar a espectaculares aumentos de sus capturas (Fig. 4a-d). Nuestros resultados son bastante contrastantes, con respecto a los de Hare y Mantua (2000), quienes se refieren a este cambio como una disminución de la productividad. En las poblaciones examinadas aquí, las evidencias apuntan hacia la dirección opuesta, lo que sugiere un desplazamiento hacia el sur de la productividad cuando disminuye en las altas latitudes. Este grupo de pesquerías incluye a la langosta y otros cangrejos, a los meros, al calamar gigante y a la caballa (Fig. 4<sup>a</sup>-d).

*El cambio de finales de los años ochenta.* Cuatro pesquerías aquí examinadas confirman los postulados de Hare y Mantua (2000), en relación con la relativa claridad de registros biológicos en contraste con la relativa falta de claridad de los cambios de los índices

climáticos del Pacífico. Estas poblaciones parecen aportar evidencias en favor de dicho cambio, mostrando una correlación significativa con el PDOI (Tabla IA).

**Tabla I. B) Variable independiente: SOI**

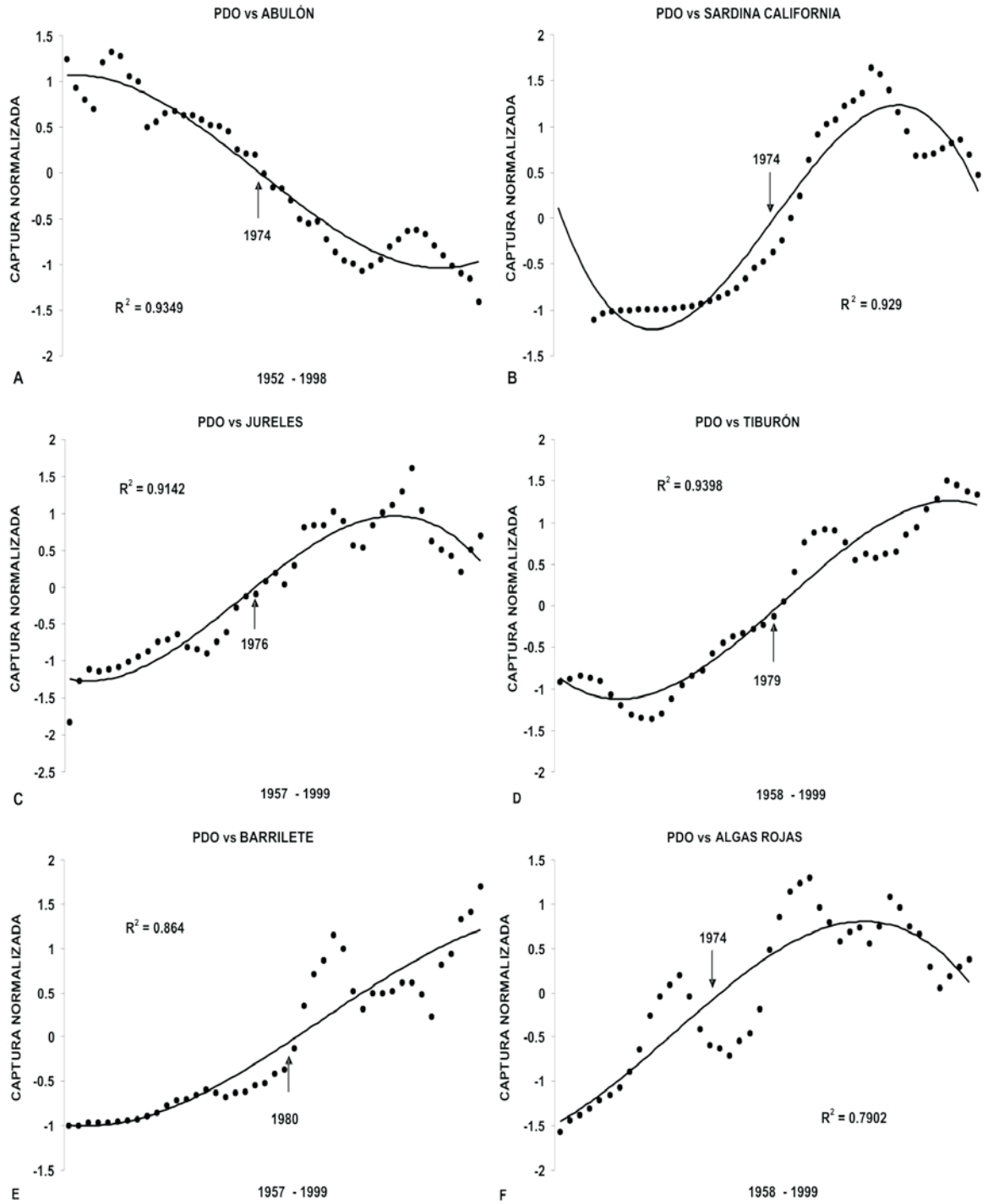
VARIABLE DEPENDIENTE	ECUACIÓN POLINOMIAL	R <sup>2</sup>
Camarón	$y = 1E-07x^6 - 2E-05x^5 + 0.0009x^4 - 0.02x^3 + 0.1746x^2 - 0.3192x - 0.73$ 0.5366	
Langosta	$y = 5E-08x^6 - 7E-06x^5 + 0.0004x^4 - 0.0099x^3 + 0.1434x^2 - 0.8823x + 0.74$ 0.7065	
Algas café	$y = -8E-08x^6 + 1E-05x^5 - 0.0005x^4 + 0.0109x^3 - 0.1089x^2 + 0.5161x - 0.91$ 1.913	
Pargo	$y = 9E-08x^6 - 1E-05x^5 + 0.0006x^4 - 0.0126x^3 + 0.1356x^2 - 0.6103x + 0.58$ 0.2594	
Lisas	$y = -3E-07x^6 + 4E-05x^5 - 0.0014x^4 + 0.0247x^3 - 0.202x^2 + 0.723x - 0.35$ 1.0016	

#### *Respuesta al fenómeno de El Niño.*

Este evento climático es bien conocido por sus temperaturas cálidas por encima de lo normal, seguido por períodos de frío, que se producen a intervalos de tres a siete años. Una pesquería que explota poblaciones de corta vida es la de camarón, cuya biomasa se repone todos los años. La langosta, algas pardas, pargos, lisas y la anchoveta son las otras poblaciones explotadas que se incluyen en el grupo más afectado por el SOI (Fig. 5 bis-e).

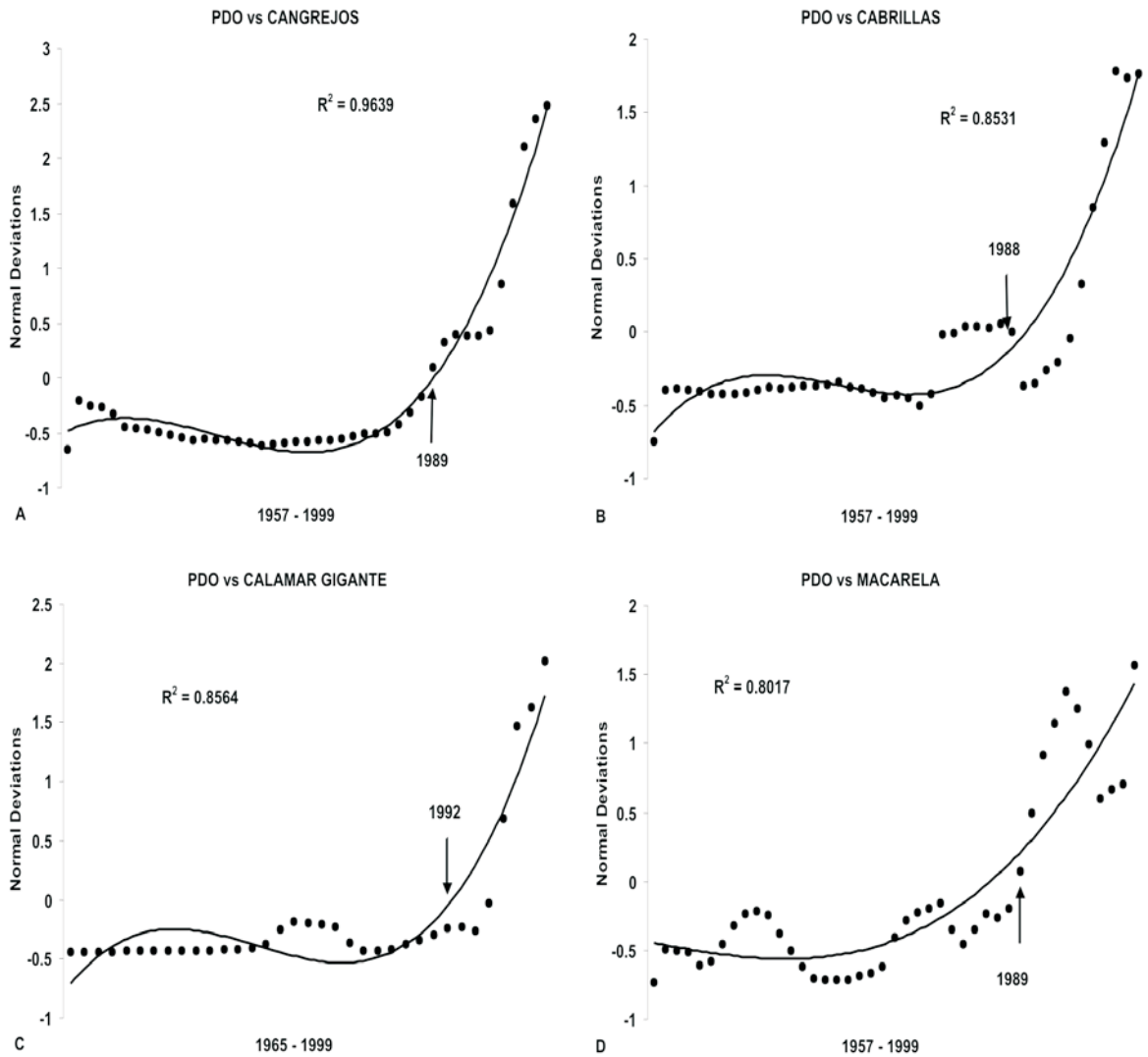
Los datos deben ser examinados con más detalle para determinar con mayor claridad los fenómenos climáticos que tengan mayor impacto sobre sus biomásas; sin embargo, con la excepción de la lisa, las correlaciones son relativamente altas (Tabla I), en particular en el caso de las algas cafés, representadas por el sargazo gigante.

Los cambios en la biomasa de camarón, un grupo anual de especies asociadas al fondo, parecen responder de modo más probable a los eventos de El Niño-La Niña, con aumentos en sus biomásas cuando los incrementos en la temperatura se producen junto con fuertes lluvias.



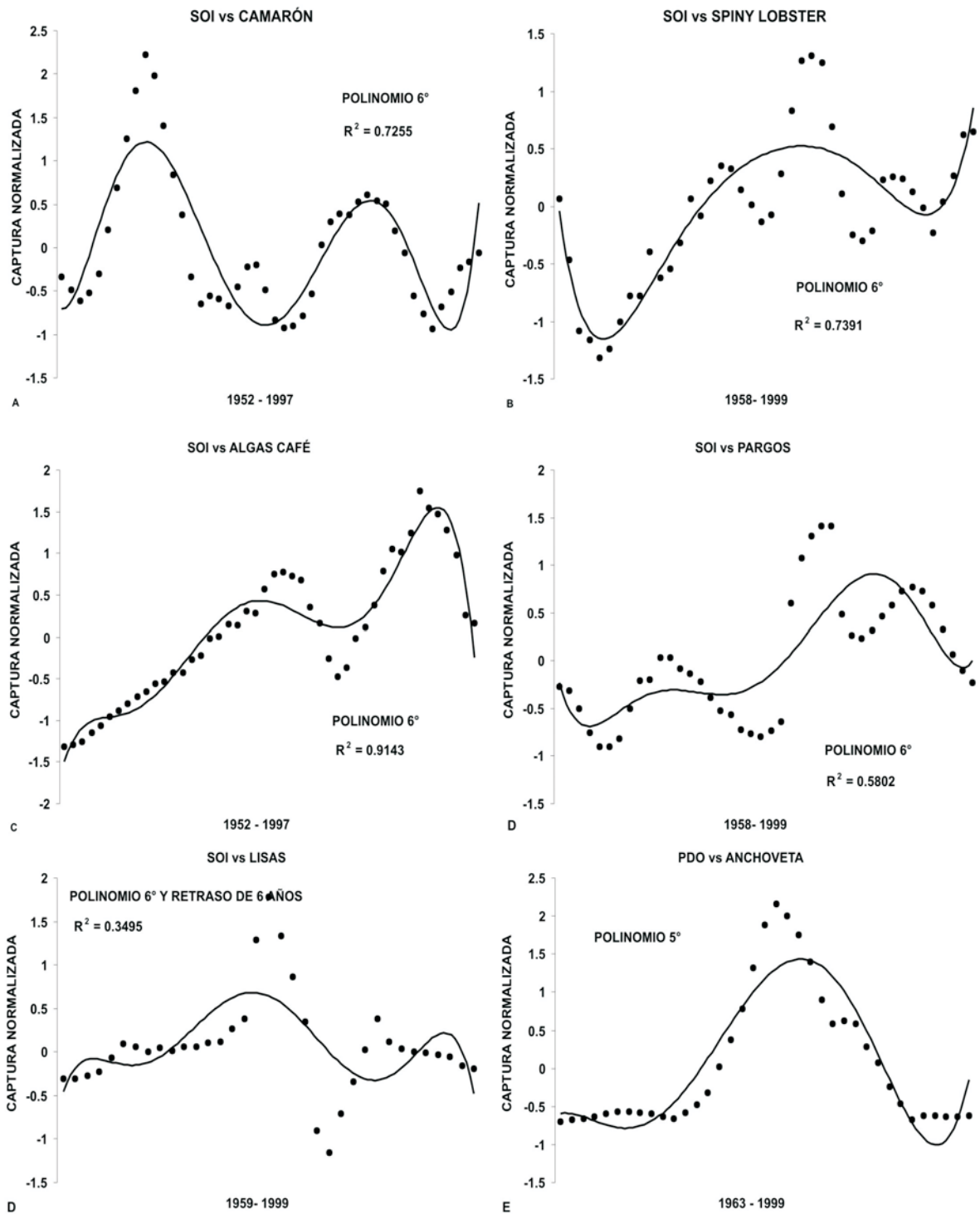
**Figura 3.** Influencia del PDOI sobre las desviaciones normales de la captura de A) abulón, B) sardina de California, C) Jureles, D) Tiburones, E) Barrilete, F) algas rojas.





**Figura 4.** Influencia de la PDOI sobre las desviaciones normales de la captura de A. Cangrejo, B. Cabrilla, C. Calamar gigante, y D. Macarela.

Otras pesquerías que no muestran un patrón claro de respuesta al cambio climático, son la lisa y la anchoveta (Fig. 5d-e); sin embargo, en el caso de esta última su respuesta parece estar asociada a ciclos climáticos de largo plazo (Lluch-Belda 1993, Lluch-Cota *et al.* 1997, Schwartzlose *et al.* 1999) y su correlación con el PDOI es alta. Klyashtorin (2001) se refiere a esta población como fuertemente influenciada por el Índice de Circulación Atmosférica.



**Figura 5.** Influencia del SOI sobre las desviaciones normales de la captura de A) Camarón, B) Langosta, C) Algas cafés, D) Pargos y Lisa, E) Anchoveta.

## DISCUSIÓN

El impacto del cambio climático parece ocurrir a lo largo de un intervalo geográfico más amplio que lo esperado y mientras más especies se examinan en relación con el mismo enfoque, más evidencias se encuentran en todo el mundo, confirmando su efecto sobre la vida marina (Klyashtorin 2001). A la luz de que cambios de régimen climático imponen cambios drásticos en los ecosistemas marinos, los relacionados con las pesquerías están abriendo una nueva perspectiva respecto a nuestra comprensión de los procesos ambientales y su influencia en la dinámica de las especies explotadas. Sin embargo, se ha señalado que el desafío más difícil que plantean los cambios climáticos decadales radica en determinar los mecanismos biológicos específicos impuestos por dichos cambios sobre cada población en particular (Clarke *et al.* 1999).

Los efectos de los cambios de régimen sobre las comunidades de peces pueden tener importantes consecuencias económicas, sin llegar a ser desastres ecológicos (Steele 1998). La dinámica de la sardina californiana, la anchoveta, el camarón y el calamar gigante se caracterizan por una amplia variabilidad en su reclutamiento y tasas de mortalidad natural, como expresión típica de los estrategias de tipo r.

Una característica adicional común a estos grupos de especies es que son habitantes neríticos; la sardina y la anchoveta se alimentan de plancton, mientras que el camarón es un omnívoro bentónico y el calamar gigante es un depredador, ocupando de esta manera tres niveles en la red trófica.

Uno de los principales problemas en la administración pesquera es la vinculada a una evaluación precisa de poblaciones explotadas y por tanto, en la prestación de asesoramiento realista, porque el medio ambiente y los efectos dependientes de la densidad comúnmente pueden confundirse (Clarke *et al.* 1999). El principal factor que limita esta tarea está relacionado con la gran influencia del ambiente sobre el reclutamiento de nuevas generaciones, lo que impone alta incertidumbre a las estimaciones del tamaño de las poblaciones. El impacto del cambio climático a largo plazo puede ser uno de los principales factores que limitan la posibilidad de la estimación exacta de las existencias de biomasa a la hora de planificar las actividades pesqueras (permisos, viajes de pesca, cuotas de captura), que regularmente se requieren definir para la siguiente temporada. Una clara discriminación entre los cambios en el tamaño de la población provocados por la intensidad de la pesca de las causadas por el cambio climático, hace que con frecuencia sea una tarea bastante difícil de llevar a cabo, especialmente en aquellas pesquerías que explotan poblaciones de corta vida fuertemente asociadas a poblaciones con oscilaciones estacionales importantes.

Se ha sugerido que cuando el impacto del cambio climático sobre las existencias explotadas se entienda mejor, un conocimiento cabal de las consecuencias a largo plazo de la dinámica poblacional de las especies se logrará. Este conocimiento permitirá conocer las fuentes de ruido, especialmente en relación con las estimaciones del reclutamiento, los cambios en la capacidad de carga que afectan la disponibilidad de alimento disponible, las tasas de crecimiento y la supervivencia de las poblaciones explotadas. No obstante, en el corto plazo no ayudaría mucho intentar aplicar directamente mucho de este conocimiento como datos de entrada para fines de la administración pesquera antes de conocer con

precisión los mecanismos y grado de impacto sobre cada recurso. Esto es simplemente porque el manejo adaptativo es un proceso que requiere de una continua evaluación de las poblaciones explotadas para poder reorientar las políticas de explotación año tras año, como requisito para adecuar las medidas de administración antes de cada temporada de pesca. Por lo tanto, no habrá mucho lugar para las consideraciones del efecto del cambio climático, más allá de las relacionadas con la planificación a largo plazo.

Bajo un régimen climático que impone bajo reclutamiento y bajos niveles de biomasa a una pesquería, sería improbable esperar la recuperación de las poblaciones a niveles similares a los que había cuando los rendimientos eran muy altos. Este es el caso del abulón, cuyos rendimientos fueron dos órdenes de magnitud más altos hace cuatro décadas, y así, ni siquiera la mejor estrategia de gestión que se aplicara hoy en día sería capaz de restablecer el tamaño de la población a los altos niveles antes mencionados, sin la participación de condiciones ambientales favorables. El caso de la sardina de California es análogo, pero con signo opuesto: las condiciones climáticas actuales están causando un efecto positivo en su biomasa en el área de estudio, y por lo tanto, un impacto negativo provocado por la intensidad de pesca que obligue a una reducción en el tamaño de la población sería poco probable. En este sentido, el problema de la administración de la pesquería consiste en cómo controlar el esfuerzo pesquero en virtud de los altos niveles de incertidumbre (Steele 1998).

Se acepta en general que el impacto humano es el principal responsable por el agotamiento o la restauración de poblaciones explotadas. Sin embargo, en el marco del cambio climático y después de la evidencia aquí mostrada, nuestra conclusión es que la sobreexplotación puede desempeñar un papel importante para agotar las existencias, pero con mayor frecuencia el papel principal puede ser desempeñado por el clima. Parece apropiado utilizar este conocimiento para planificar la explotación pesquera en el largo plazo. En el corto plazo, sin embargo, las herramientas y criterios de uso actual para la ordenación de la pesca siguen prevaleciendo como los más adecuados.

Nueve de las poblaciones aquí examinadas muestran una sorprendente respuesta: en primer lugar, la sardina de California, los jureles, los tiburones, el barrilete y algas marinas rojas mostraron un claro efecto inducido por el cambio de régimen que ocurrió a la mitad de los años setenta. Además, cangrejos, meros, calamares, y la macarela muestran efectos por el cambio climático ocurrido a mitades de los años ochenta. En todos estos casos la respuesta en la biomasa de las poblaciones es positiva. Esto implica un aumento significativo de la productividad, que permitió aumentos notorios en las capturas. Estas respuestas son bastante contrastantes con las que se muestran en Hare y Mantua (2000), lo que sugiere una respuesta similar de la productividad en el norte del Pacífico, pero en una dirección opuesta.

Estudios previos hacen referencia a una disminución de la productividad inducida por el cambio hacia la mitad de los años ochenta (Hare y Mantua 2000). Las evidencias que aquí se presentan son muy contrastantes, porque las respuestas de las poblaciones de la zona de transición cálido-templada sugieren un desplazamiento hacia el sur de la productividad primaria cuando ésta en las latitudes septentrionales. De este modo, un gran cambio en la productividad puede estar ocurriendo, desencadenado por los cambios climáticos de largo plazo: una disminución de la productividad en las latitudes altas se acompaña de su aumento en latitudes bajas. Por lo tanto, esto hace sospechar que cuando ocurra el próximo

cambio de régimen climático con dirección opuesta a la de la mitad de los años setenta y ochenta, se inducirían respuestas de las poblaciones similares a las descritas aquí, pero en dirección opuesta, manteniendo un balance a gran escala en la productividad de los ecosistemas marinos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores fueron parcialmente patrocinados por la COFAA-IPN y EDI-IPN. El Instituto de Investigación Harte para Estudios del Golfo de México, de la Texas A&M University fue anfitrión del primer autor durante las últimas etapas de la escritura de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Beamish, R.J., D.J. Noakes, G.A.M. Farlane, G.A. Klyshorin, L. Ivanov, y V. Kurashov, 1999. The regime concept and natural trends in the production of the Pacific salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 516-526.
- FAO. 2000. Yearbook of fishery statistics – Capture production 1998. Vol. 86/1 Rome, Italy: FAO. (<http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp>).
- Clark, W. G., S. Hare, A. M. Parma, P. J. Sullivan, y R. J. Trumble. 1999. Decadal changes in growth and recruitment of Pacific halibut (*Hippoglossus stenolepis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 242-252.
- Hare, S.R. y N.J. Mantua. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Prog. Oceanogr.* 47: 103-146.
- Klyshorin, L.B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches. FAO Fisheries Technical Paper 410. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 86 pp.
- Lluch-Belda, D., R. Crawford, T. Kawasaki, A. MacCall, R. Parrish, R. Swartzlose, y P. Smith. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stock. The regime problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.*: 195-205.
- Lluch-Belda, D., R.A. Swartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D. Hedgecock, y R.J.M. Crawford. 1993a. Sardine and anchovy regime fluctuations in abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. *Fish.Oceanogr.* 1(4): 339-347.
- Lluch-Cota, D., S. Hernández-Vázquez, y S. Lluch-Cota. 1997. Empirical Investigations on the Relationship between climate and small pelagic Global Regimes and El Niño-Southern Oscillation (ENSO). FAO Fisheries Circular 934. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 48 pp.
- MacCall, A. D. 1996. Patterns of low-frequency variability in fish populations of the California current. *Calif. Coop. Oceanic Fish, Invest. Rep.* 37: 100-110.

- Schwartzlose, R.A., J. Alheit, J. Bakun, T. Baumgartner, T. Cloete, R. Crawford, W. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, A. MacGill, Y. Matsuura, M. Nevárez-Martínez, R. Parrish, C. Roy, R. Serra, K. Shust, M. Ward, y M. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 21: 289-347.
- Steele, J. H. 1998. Regime shifts in marine ecosystems. *Ecological Applications*. 8(1): S33-S36.



# VARIABILIDAD DEL CLIMA Y PESQUERÍAS DEL NOROESTE MEXICANO

*Salvador E. Lluch Cota, María Verónica Morales Zárate y Daniel B. Lluch Cota*

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). A. P. 128, La Paz, Baja California Sur 23000, México.

e-mail: slluch@cibnor.mx

## RESUMEN

El objetivo de esta contribución es explorar la relación entre la variabilidad ambiental y las pesquerías del noroeste de México, e incluimos una revisión ligera de las formas en que el ambiente y su variabilidad afectan la distribución y abundancia de los recursos pesqueros, una visión de éstos a nivel noroeste y concluimos llamando la atención sobre la importancia de incorporar la variabilidad (e incertidumbre) a los ejercicios de planeación y manejo de pesquerías.

## INTRODUCCIÓN

Se dice que existe un cambio climático cuando se presentan periodos de varios años que se desvían de la condición ambiental promedio. Estas variaciones pueden abarcar las frecuencias de años, décadas, centurias o milenios. El cambio reciente (último siglo) de calentamiento rápido, sostenido e identificable con diferentes manifestaciones en todo el planeta, se ha reconocido ya como calentamiento global y se diferencia de las otras formas de variabilidad climática, en que su origen puede estar relacionado con la influencia del hombre, más que con ciclos naturales de variabilidad. Todas estas manifestaciones tienen impactos en los recursos naturales y deben ser estudiadas y consideradas en la planeación de su explotación.

El objetivo de este capítulo es explorar esta relación, e incluimos una revisión ligera de las formas en que el ambiente y su variabilidad afectan la distribución y abundancia de los recursos pesqueros, una visión de éstos a nivel noroeste y concluimos llamando la atención sobre la importancia de incorporar la variabilidad (e incertidumbre) a los ejercicios de planeación y manejo de pesquerías.

### *Variabilidad Climática y Pesquería*

Las condiciones ambientales varían a prácticamente cualquier escala temporal, ejerciendo influencia sobre los ecosistemas y complicando nuestra capacidad de manejarlos. A escalas temporales cortas (como ciclos diarios y estacionales), nuestra capacidad de observar y repetir la experiencia, nos han permitido alcanzar una buena capacidad de pronóstico. Por otro lado, existen diversos procesos naturales sintonizados a esas variaciones (reproducción, migraciones, hibernación), que cuando son entendidos y documentados son de gran utilidad para aumentar los beneficios que podemos obtener de los ecosistemas.

A medida que aumenta la escala temporal disminuye nuestra capacidad de pronóstico y de incorporar la variabilidad a nuestros planes de uso y manejo de los sistemas naturales. Estas escalas, aquellas más allá de los cambios estacionales, son las que normalmente se manejan como cambios climáticos en la literatura científica y aunque se trata de un

continuo, podemos clasificarlas en interanual (que ocurre entre años, como la oscilación de el Niño y la Niña), decadal a multidecadal (ciclos o condiciones que duran por una o unas cuantas décadas, tales como las registradas por la oscilación decadal del Pacífico), largo plazo (ocurriendo entre siglos o milenios, como las glaciaciones).

Actualmente la fuente más importante de alimento para nuestras sociedades a nivel mundial proviene de las actividades primarias como agricultura, ganadería, acuicultura y pesca. Entre ellas, la pesca es la rama económica que implica mayor incertidumbre, en parte por la dificultad de evaluar o inferir la biomasa disponible, y desde luego también porque son muy pocas las acciones que se pueden tomar para contrarrestar las variaciones naturales, con excepción de reducir o incrementar el esfuerzo de pesca. Por otra parte, el manejo pesquero ha sido sobresimplificado y frecuentemente atiende la problemática asociada a uno solo especie de interés. Actualmente se reconoce que la eficacia de las acciones para mantener pesquerías rentables y saludables depende de la capacidad de considerar el ecosistema y minimizar (o amortiguar) el impacto negativo de las fuentes de estrés o perturbación (esfuerzo pesquero, clima, variabilidad ecosistémica).

La variabilidad ambiental influye en el número y distribución de especies a través de factores abióticos tales como la temperatura del agua, la salinidad, la cantidad de nutrientes, el nivel del mar y las corrientes marinas. De éstos, la temperatura es probablemente la variable más ampliamente medida y la más comúnmente usada como indicador de procesos oceánicos más complejos. Del análisis de los efectos de esta variable, sabemos que no todas las poblaciones responden de igual forma. Por ejemplo, durante episodios de incremento en la temperatura de manera anómala (p.e. eventos El Niño) el calentamiento rápido y excesivo del agua causa enfermedades y altas tasas de mortalidad en algunas especies, crecimiento lento, escasez y problemas de reproducción entre otras afecciones. Algunas poblaciones compensan estos efectos cambiando su distribución y/o patrones migratorios en los planos latitudinales y de profundidad. En este sentido, la variabilidad climática puede afectar también de manera indirecta en otras poblaciones por los cambios en la disponibilidad y composición del alimento y la presencia de competidores y depredadores.

### *El noroeste mexicano*

La Región Noroeste del país incluye a las costas del Pacífico de la península de Baja California y al Golfo de California. Se trata de una zona con altos niveles de producción biológica, fuertes variaciones ambientales y presencia de recursos masivos. Por esta razón, la región aporta el 66% de la captura nacional. En términos de tendencia de la producción, esta es la única región donde existe una tendencia hacia el aumento; sin embargo, también es la región con las variaciones más pronunciadas, debido principalmente a los fuertes cambios interanuales asociados a las fluctuaciones climáticas característicos de recursos masivos como los pelágicos menores y el calamar.

En 2005 la captura de la región se ubicó en el orden de las 920 mil toneladas. De éstas, el 76% lo aportaron las pesquerías industrializadas de pelágicos menores (58%), atún (8%), camarón (4%) y calamar (6%) y el restante 24%, pesquerías artesanales o de bajos volúmenes pero alto valor, como la langosta y el abulón. La mayor parte de esta producción se genera en el Golfo de California principalmente por los Estados de Sonora (44%) y Sinaloa (24%) y solo una pequeña proporción en la costa occidental.

Dada la gran diversidad de recursos presentes en la región Noroeste, existe también una gran variedad de condiciones de los recursos; desde algunos considerados sobreexplotados o en deterioro (abulón, tiburón zorro, erizo, camarón), otras aprovechadas a su máximo rendimiento (almeja catarina, tiburón, pulpo, mejillón, langosta), hasta aquellas para las que se reconoce un potencial de desarrollo (calamar, sargazo, pez espada).

De igual manera, existen diferentes estrategias y casos particulares de manejo, desde medidas tradicionales como el manejo de tallas mínimas de captura (almeja), la limitación de tipo de artes (erizo) y la concesión de permisos y cuota anual (calamar), hasta esquemas más sofisticados como el manejo por zonas administrativas (sargazo) con cuotas anuales de captura por especie, talla, época y zona (abulón).

En la región Noroeste se ubica la cuarta parte del total de embarcaciones registradas a nivel nacional, de éstas el 93% son embarcaciones menores para pesca ribereña y el 7% restante es flota de altura e industrial; y de las cuales a nivel nacional se cuenta con el 100% de la flota sardinera-anchovetera, el 74% de la atunera, el 61% de la camaronera y el 17% de la escamera. Los más de 5,700 kilómetros de litoral son atendidos por 21 puertos que realizan actividades pesqueras; de éstos, cuatro se localizan en Baja California, seis en Baja California Sur, cuatro en Sonora, cuatro en Sinaloa, y tres en Nayarit. Según cifras oficiales, la infraestructura portuaria regional dedicada a la pesca totaliza 11,566 metros de muelle útil. Ello significaría una proporción, que parece adecuada, de poco más de seis metros por cada una de las aproximadamente 1,800 embarcaciones que integran la flota mayor. En cambio, apenas corresponderían unos 0.4 metros a cada una de las más de 28,000 embarcaciones menores. En términos de cobertura, en promedio a cada puerto le corresponderían las operaciones de pesca que se realizan a lo largo de 274 kilómetros de litoral; lo que implica distancias de navegación que pueden resultar adecuadas para la generalidad de las embarcaciones mayores, pero que claramente superan la autonomía media de la flota menor. Ello obliga a la flota menor a acceder sólo a los recursos más aledaños a las instalaciones portuarias, o bien a realizar sus operaciones sin las ventajas y facilidades que dicha infraestructura debería proporcionarles.

Desde hace ya varias décadas, la mayor actividad pesquera de la Región se realiza dentro del Golfo, principalmente enfocada a las pesquerías de pelágicos menores (que se desarrolló durante la década de los 1970s a raíz de la reubicación de la flota por el colapso de la pesquería en Ensenada), al atún y al camarón. En este sentido, es poco el potencial de incremento en la producción pesquera que se prevé pueda derivarse de esta zona. En contraste, la costa occidental de la Península contiene recursos potenciales de elevada biomasa estimada y para los cuales existen, en muchos casos, mercados identificados. Causa y consecuencia de esta diferencia en los niveles de producción es la falta de infraestructura que permita optimizar la cadena productiva de muchos de estos productos potenciales, tanto en lo que se refiere a distribución de la flota como a puertos, capacidad de procesamiento y comunicaciones.

La generalidad de las pesquerías regionales han registrado fluctuaciones importantes con importantes costos sociales y económicos. Por ejemplo, se han documentado diversos efectos de El Niño en recursos pesqueros regionales, como los cambios en composición de la captura y biomasa total en pelágicos menores en el Golfo de California (Lluch-Belda *et al.* 1986, Ruiz-Luna 1995), el desprendimiento masivo de los mantos de sargazo gigante en la costa occidental de Baja California (Casas-Valdez 1996, Hernández-Carmona *et al.*

1991) y sus efectos potenciales en recursos como la langosta (Vega *et al.* 1996) y el abulón (León-Carballo y Muciño-Díaz 1996, Lluch-Cota y Ponce-Díaz 2000). Un estimado publicado de los costos y beneficios económicos de El Niño en términos de la actividad pesquera regional indica una reducción de alrededor del 23% entre 1997 y 1998, básicamente por los decrementos en las capturas de los tres principales recursos masivos: la sardina (20%), el atún (8%) y, sobre todo, el calamar (75%), éste último ocasionado (al menos en parte) por un desplazamiento transitorio de la población desde sus zonas de pesca dentro del Golfo de California hacia la costa occidental de Baja California Sur. Por otro lado se presentó un incremento del 15% en las capturas de camarón, recurso de gran valor económico cuyo reclutamiento parece beneficiarse de los incrementos en la precipitación que suelen acompañar a El Niño en la región (Lluch-Belda *et al.* 1991). No obstante, las bajas de las pesquerías masivas, y las de recursos de muy elevado valor comercial como el abulón y la langosta, se combinaron para resultar en una reducción de las exportaciones nacionales equivalente a unos \$360 millones de dólares (Lluch-Cota D.B. *et al.* 1999).

## CONCLUSIÓN

Debido a que la abundancia y distribución de las poblaciones marinas esta fuertemente afectada por la variabilidad climática, el sector pesquero en general puede ser considerado como una actividad muy vulnerable; sin embargo, el grado de vulnerabilidad y las posibles consecuencias económicas y sociales de las fluctuaciones en el clima varían fuertemente entre pesquerías, el impacto es función de muchos factores, entre los que destacan: la escala comercial y su grado de tecnificación (industrial, artesanal, recreativa, de subsistencia), la biología del recurso en explotación, las propiedades del ambiente donde habita, y los antecedentes económico-social y cultural del componente de la sociedad que realiza la explotación. En términos generales, las pesquerías más industrializadas que aprovechan especies altamente migratorias o de amplia distribución, tienden a ser menos vulnerables que aquellas que explotan recursos sedentarios y a escala local, donde frecuentemente existen pocas alternativas de movilidad o cambios de actividad (subsistencia). En este sentido, la evaluación y proyección de consecuencias de la variabilidad y cambio climático en los sistemas pesqueros debe realizarse en una base de caso a caso; los estudios a escala nacional, e incluso regional, que no cuenten con información específica sobre cada recurso, no permitirán contar con el marco de información suficiente para la toma de decisiones y planeación en el sector pesquero.

Hasta que las ciencias físicas permitan desarrollar pronósticos adecuados y confiables de la variabilidad climática, y la ecología sea capaz de predecir las consecuencias en las comunidades marinas, las pesquerías deben reconocer la incertidumbre como una de sus características y la planeación de actividades y manejo tomarla en cuenta. Una de las formas en que puede abordarse el tratamiento de la incertidumbre, es mediante las economías flexibles, donde se considere no solo el desarrollo de la capacidad de extracción y procesamiento de diferentes recursos por el mismo sector poblacional, sino además la posibilidad de diversificar, combinar o cambiar a otras actividades económicas que se crea que no tengan consecuencias sociales importantes. El desarrollo flexible de la industria o sector pesquero permite aprovechar el potencial de ingreso y empleo mediante mayor

eficiencia y especialización de los diferentes eslabones de la cadena productiva, por la minimización de pérdida por imponderables o eventos catastróficos. En este sentido, representa (en términos generales) una posibilidad social de desarrollo, más amigable ante los escenarios más inciertos, como el que vivimos hoy día ante el debate del calentamiento global.

## REFERENCIAS

- Casas-Valdez M. y Ponce-Díaz G. 1996. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. SEMARNAP/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / CETMAR, La Paz, B.C.S., México.693 pp.
- Hernández-Carmona, G., Y.E. Rodríguez-Montesinos, M.M. Casas-Valdez, M. Aguirre-Vilchis y I. Sánchez-Rodríguez. 1991. Evaluation of the beds of *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta, Laminariales) in the Baja California peninsula, Mexico. III. Summer 1986 and seasonal variation. *Ciencias Marinas* 17: 121-145.
- León-Carballo, G. y M. Muciño-Díaz. 1996. Pesquería de abulón. *In:* 15-41 p. Casas-Valdez, M., G. Ponce-Díaz (eds.), Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Semarnap/ Gobierno del Estado de B.C.S./ FAO / INP / UABCS / CIB / CICIMAR / Cet-Mar., La Paz, B.C.S., México.
- Lluch-Belda D., S. Hernández-Vázquez, D.B. Lluch-Cota, C.A. Salinas-Zavala, F. Magallón-Barajas y F. de Lachica-Bonilla. 1991. Variación climática y oceanográfica global: sus efectos en el noroeste mexicano. 1991. *Ciencia y Desarrollo CONACyT*, México, 17: 79-88.
- Lluch-Cota, D.B., D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M.O. Nevárez-Martínez, G. Ponce Díaz, C.A. Salinas Zavala, A. Vega Velazquez, R. Lara-Lara y M.G. Hamman, J. Morales. 1999. Las Pesquerías y El Niño. *In:* 137-178 p. Magaña, R.V.O. (Ed). Los Impactos de El Niño en México. DGPC/SG/UNAM/IAI/SEP-CONACYT. Mexico.
- Lluch-Cota, D.B. y G. Ponce-Díaz. 2000. Situación actual y perspectivas de la pesquería de abulón. Mem. Taller Cultivo Intensivo y Repoblamiento del Abulón, B. de M.-FIRA/ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz B.C.S., Mexico, p. 1-16.
- Ruíz-Luna A. 1995. Comparación de modelos globales con un modelo empírico para la evaluación de la producción pesquera de la sardina crinuda *Ophistonema spp.* *Ciencias del Mar*, Universidad Autónoma de Sinaloa (Mex.) 14: 26-31.
- Vega-Velázquez, A. y D.B. Lluch-Cota. 1992. Análisis de las fluctuaciones en la producción de langostas (*Panulirus spp.*), del litoral oeste de la Península de Baja California, en relación con el desarrollo histórico de la pesquería y la variabilidad del marco ambiental. Mem. Taller Inter. México- Australia sobre Reclutamiento de Recursos Marinos Bentónicos de la Península de Baja California. IPN. ENCB-CICIMAR. INP. La Paz, B.C.S. 25-29 noviembre de 1991.



# EL EFECTO DEL ENOS 1997-1998 EN LA DISTRIBUCION DEL ATUN ALETA AMARILLA *Thunnus albacares* (BONATERRE, 1788)

*Sofía Ortega-García y Rubén Rodríguez-Sánchez*

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. Av. IPN s/n Col. Playa Palo de Santa Rita. La Paz, Baja California Sur. C.P. 23096.

e-mail: [sortega@ipn.mx](mailto:sortega@ipn.mx)

## RESUMEN

Se analizan las capturas registradas en las bitácoras de pesca de la flota atunera mexicana de cerco que operó en el Océano Pacífico Oriental (OPO) durante 1996-1998 y su distribución se relaciona con la distribución de las anomalías de las temperaturas superficiales del mar (TSM). El resultado principal de este trabajo es que la variabilidad de la TSM en el OPO inducida por el evento El Niño 1997-1998 condujo a un cambio en la distribución geográfica del atún aleta amarilla que impactó a la flota atunera mexicana. Durante este evento climático que inicio en el verano de 1997 y continuó hasta el verano del 1998, la mayor frecuencia de lances de atún cambio hacia el noroeste del área de distribución de la especie reduciendo la extensión de operación que la flota tenía hacia aguas ecuatoriales. Asociado al cambio de distribución de la especie, se redujo la captura promedio por lance y el volumen total de capturas.

## INTRODUCCIÓN

El ciclo El Niño–Oscilación del Sur (ENOS) alterna eventos El Niño cálidos y La Niña fríos (Graham y White 1988) y es la señal interanual climática dominante en la Tierra (Quinn 1992). Los ENOS se originan en el Pacífico tropical por las interacciones entre el océano y la atmósfera, pero sus impactos ambientales y socioeconómicos ocurren a nivel mundial (Wolter y Timlin 1998). Innumerables esfuerzos se han realizado en años recientes para entender las causas y consecuencias de los ENOS, principalmente estimulados por el gran alcance de El Niño 1997-1998 (McPhaden 1999). En la opinión de McPhaden *et al.* (2006), estos esfuerzos revelan la amplitud de su influencia y la necesidad potencial de poder predecirlos para beneficio de la sociedad, pero reconocen que muchos aspectos entrelazados relativos a la dinámica e impacto de los ENOS permanecen sin resolver.

La captura mundial total de atún está dominada por dos especies, el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*, Bonaterre, 1788) y el barrilete (*Katsuwonus pelamis*, Linnaeus, 1758) que habitan la capa superficial del océano. Estas dos especies están entre los predadores tope del ecosistema pelágico tropical y tienen la biomasa más grande y los requerimientos alimenticios más altos (Kitchell *et al.* 1999). Los registros mundiales de la FAO más recientes indican que de las 4,193,438 toneladas (t) de atún capturadas durante 2004, estas dos especies representaron el 80% (<http://www.fao.org/>).

En el Océano Pacífico Oriental (OPO), de las 288,019 toneladas de atún aleta amarilla capturadas durante 2005 por la flota internacional, la flota mexicana contribuyó con el 39% (CIAT 2008). En ese año, el volumen de producción de atún en México posicionó a esta pesquería en tercer lugar, después de las pesquerías de sardina y camarón y como segunda en valor, después del camarón (CONAPESCA 2008).



Los límites de temperatura entre los que se distribuye el atún aleta amarilla han sido discutidos por Broadhead y Barrett (1964), Cole (1980), Sund *et al.* (1981), entre otros. Sobre la base de las temperaturas reportadas, es evidente que las concentraciones comerciales rara vez se encuentran por abajo de los 20 °C. En el hemisferio norte se ha observado que el atún exhibe movimientos relacionados con la posición de las isotermas de 20 y 21 °C (Blackburn *et al.* 1962, Broadhead y Barrett 1964).

Sin embargo, Allen y Punsly (1984) sugieren que si bien la temperatura no es el factor más importante que influye en el comportamiento de los atunes, se relaciona estrechamente con otros factores que tienen mayor influencia, como el perfil térmico y por lo mismo se relaciona con la magnitud de las capturas.

Otros estudios han sugerido que la estructura térmica vertical de los océanos también influye en la distribución del atún aleta amarilla, por lo que en el OPO donde se presenta una termoclina muy somera a lo largo del año facilita que la pesquería de superficie se lleve a cabo con éxito (Green 1967, Arenas *et al.* 1999). Sin embargo, durante eventos El Niño se ha observado que al incrementar la profundidad de la termoclina, el atún se vuelve menos vulnerable a la red de cerco y las tasas de captura disminuyen (CIAT 2002). Como consecuencia se ha reportado una reducción en la disponibilidad de los atunes, siendo ésta más evidente frente al Ecuador (CIAT 1984, 1985). El Niño 1982-1983, considerado como el más intenso del siglo ocasionó disminuciones importantes en las capturas de aleta amarilla (CIAT 1984). Pero también está reportado para el OPO que dos años después de eventos ENOS han seguido reclutamientos superiores al promedio (CIAT 2004).

Sobre la base de los antecedentes mencionados, enfatizamos que los volúmenes de captura de atún a niveles mundial y nacional son indicadores de la importancia de esta especie como fuente de alimento. La variación de sus capturas como resultado de cambios de abundancia y disponibilidad inducidos por la variabilidad ambiental interanual es un problema que históricamente ha impactado a la pesquería de atún y requiere ser entendido para minimizar futuros problemas. Esta necesidad se maximiza ante la expectativa de que la frecuencia de eventos ENOS se incremente debido al calentamiento global (Timmermann *et al.* 1999).

En este trabajo se analiza el efecto del ENOS 1997-1998 en la distribución del atún aleta amarilla dentro del área de influencia de la flota atunera mexicana en el Pacífico Oriental.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La información utilizada proviene de dos fuentes: a) capturas registradas en las bitácoras de pesca de la flota atunera mexicana de cerco que operó en el OPO durante 1996-1998; y b) mapas mensuales de las anomalías de las temperaturas superficiales del mar (TSM) generados por la NOAA a partir de imágenes satelitales de la TSM mensual promedio (<http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/SST>).

Para mostrar los cambios en las capturas y en la distribución y abundancia relativa del atún aleta amarilla por incremento de la TSM durante el evento El Niño, los análisis y resultados se presentan de manera relativa a condiciones no-El Niño. En este trabajo se

consideró como condiciones no-El Niño al segundo semestre de 1996 y primero de 1997 y como condiciones El Niño al segundo semestre de 1997 y primero de 1998.

Para denotar la variabilidad de capturas entre condiciones El Niño y no-El Niño, se utilizaron los registros de captura mensual y se estimaron las anomalías mensuales de la captura por lance promedio para el periodo de enero de 1996 a junio de 1998. Así mismo, para exhibir la variación geográfica de la especie se comparó espacialmente la distribución de lances realizados durante condiciones no-El Niño (segundo semestre de 1996 y primero de 1997) con respecto a la distribución observada durante condiciones El Niño (segundo semestre de 1997 y primero de 1998). Para esto último se elaboraron mapas mensuales con la distribución de las capturas promedio en cuadrantes de un grado con cinco niveles: 1) < 5 t, 2) 5-20 t, 3) 20-50 t, 4) 50-100 t, y 5) > 100 t. La distribución de estas capturas fue sobrepuesta a los mapas mensuales de anomalías de TSM

Se determinó la frecuencia de lances promedio semestral en función de la temperatura superficial del mar, así como la frecuencia de lances por latitud y longitud para el primer semestre de 1997 (condiciones no-El Niño) y para el primer semestre de 1998 (condiciones El Niño).

La flota atunera mexicana está compuesta por embarcaciones con diferente autonomía y como consecuencia operan en áreas diferentes. Las embarcaciones de menor capacidad de acarreo tienden a pescar en aguas más costeras, en tanto que las embarcaciones grandes tienen autonomía suficiente para pescar en aguas oceánicas. Considerando lo anterior, el análisis geográfico y las estadísticas de captura semestral promedio por lance durante el periodo El Niño, se realizaron para tres categorías de barco 1) <400 t, 2) de 400 a 700 t, y 3) > 700 t.

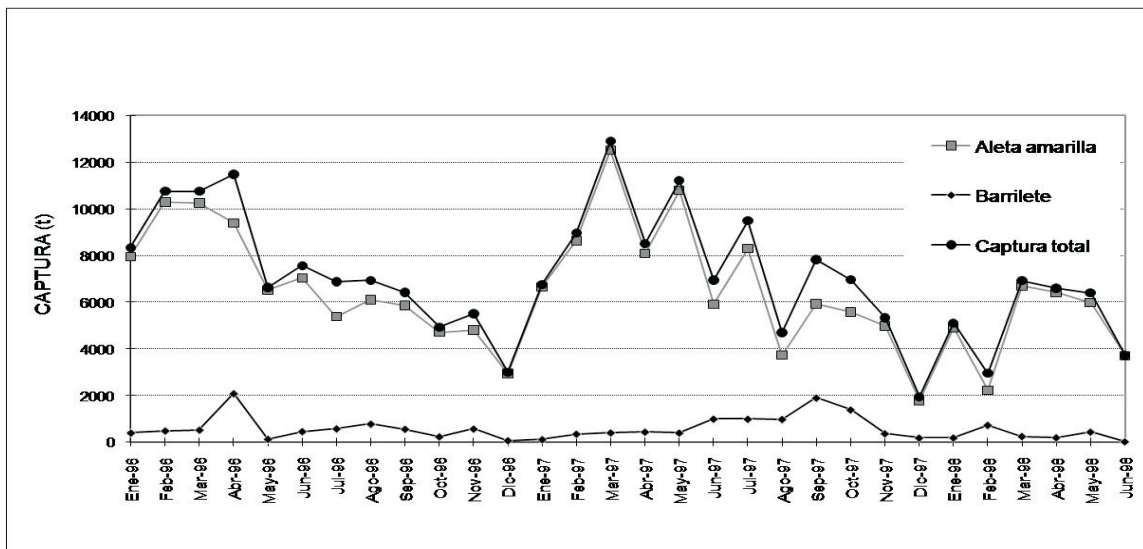
## **RESULTADOS**

La serie mensual de capturas muestra que en dos años sucesivos (1996 y 1997) las mayores capturas ocurren durante el primer semestre de cada año, pero no así durante el primer semestre de 1998 (Fig. 1). No obstante, en el mes de marzo de 1997 y de 1998, ocurrió el mayor número de lances con 782 y 851 respectivamente, meses a los que también correspondió los mayores volúmenes de captura de atún aleta amarilla con 12511 y 6689 t respectivamente. Durante 1996, febrero fue el mes en que presentó la mayor captura y marzo ocupó el segundo lugar, aunque la diferencia respecto al primer lugar fue mínima.

El comportamiento de las anomalías mensuales de las capturas promedio por lance no muestra un patrón estacional definido, pero desde el inicio de la serie y hasta mediados de 1997 se observaron de manera general anomalías positivas, con excepción de 2 meses (agosto y diciembre de 1996). Particularmente durante el primer semestre de 1997 las anomalías presentaron una tendencia positiva, disminuyendo posteriormente gradualmente durante el segundo semestre de 1997 y primero de 1998. Durante estos dos últimos semestres las anomalías se mantuvieron por debajo del promedio y el valor mínimo ocurrió en febrero de 1998 (Fig. 2).

Sobre la base de los resultados mostrados en las dos figuras anteriores y de comparar en meses equivalentes con condiciones ambientales diferentes, los cambios más relevantes ocurrieron cuando se contrasta el primer semestre de 1997 (no-El Niño) y el correspondiente a 1998 (El Niño).

Del total de bitácoras de pesca utilizadas para construir las figuras anteriores, los registros desglosados que corresponden al periodo de julio/1996 a junio/1998 representaron 15,031 lances que totalizaron una captura de 212,362 t, de las cuales el atún aleta amarilla representó el 91.4% (194,058 t), el barrilete el 7.9% (16,779 t) y otros atunes 0.7% (1,525 t). La distribución geográfica del total de estos registros se presentan en las figuras 3a y 3b, en ellas se comparan periodos del año equivalentes bajo condiciones ambientales diferentes (El Niño vs. no-El Niño).

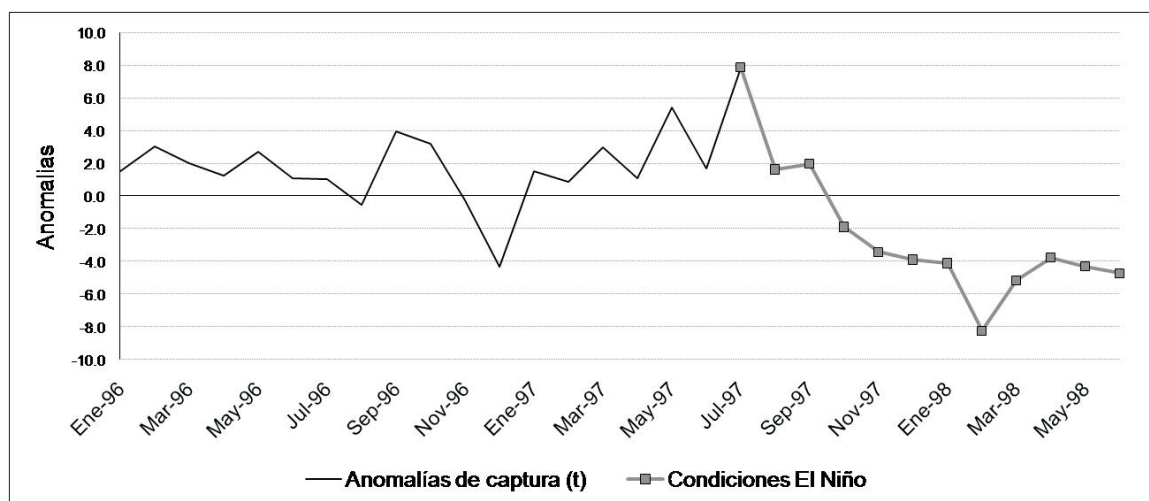


**Figura 1.** Capturas mensuales de las principales especies de túnidos por la flota atunera mexicana en el Océano Pacífico Oriental en el periodo de julio/1996 a junio/1998.

De esos mismos registros, los correspondientes a 1997 y al primer semestre de 1998 son los que se utilizan para mostrar posteriormente la relación entre la distribución geográfica mensual de las capturas de atún aleta amarilla con las anomalías de la TSM (Fig. 6a, 6b y 6c).

La distribución geográfica de los lances en meses equivalentes pero bajo condiciones ambientales diferentes se presenta comparativamente. En la figura 3a se contrasta el segundo semestre de los años 1996 (no-El Niño) y 1997 (El Niño). La comparación de las distribuciones durante el primer semestre de los años 1997 (no-El Niño) y 1998 (El Niño) se presenta en la figura 3b. Si para fines descriptivos de estos resultados, establecemos que las áreas tradicionales de pesca son aquellas donde opera la flota atunera mexicana bajo

condiciones no-El Niño, entonces se observó un desplazamiento del recurso hacia el noroeste mientras el evento El Niño estuvo presente y este cambio fue más notorio durante el primer semestre de 1998.



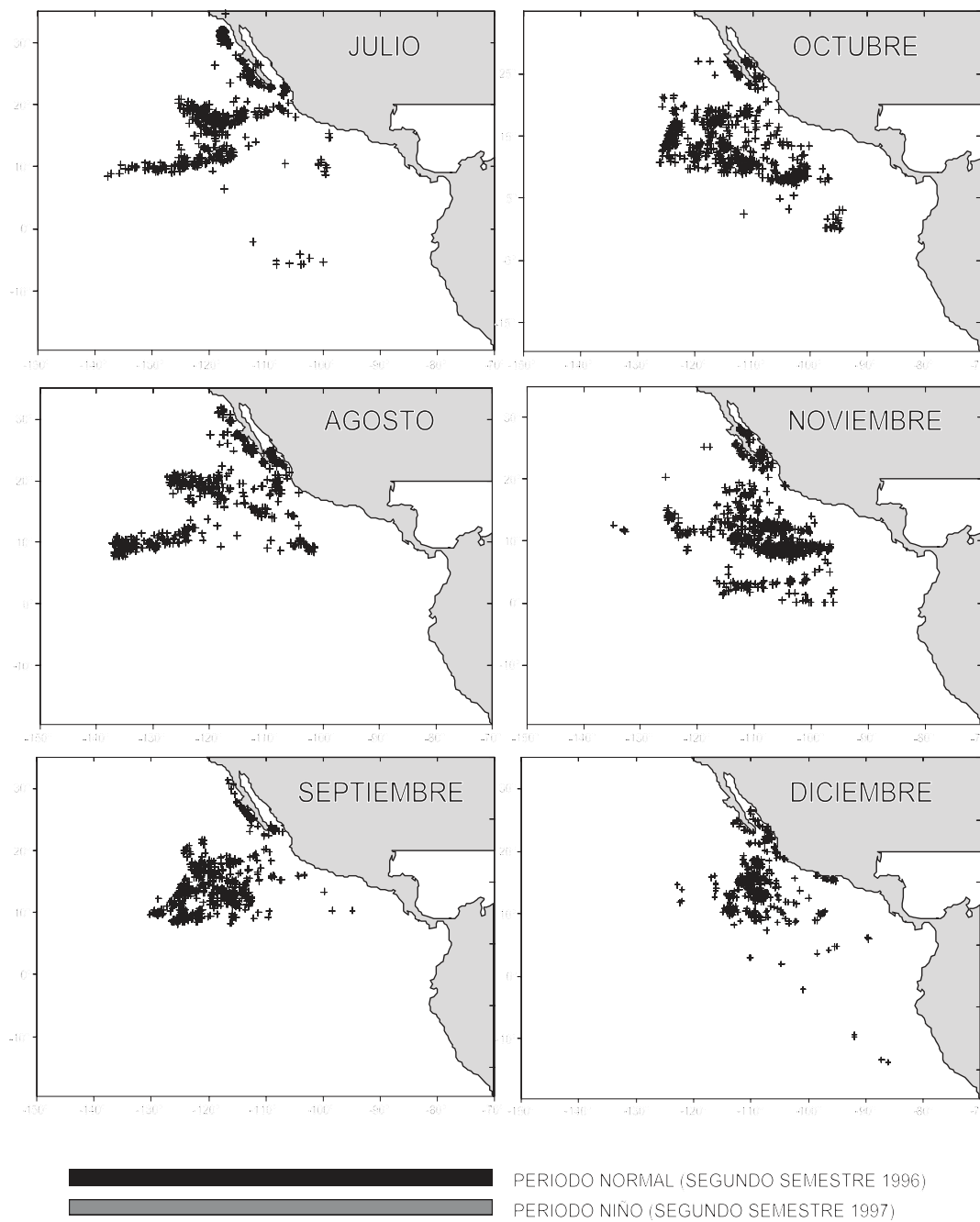
**Figura 2.** Anomalías de la captura por lance mensual promedio del atún aleta amarilla capturado por la flota mexicana de cerco de julio/1996 a Junio/1998.

De esos mismos registros, los correspondientes a 1997 y al primer semestre de 1998 son los que se utilizan para mostrar posteriormente la relación entre la distribución geográfica mensual de las capturas de atún aleta amarilla con las anomalías de la TSM (Fig. 6a, 6b y 6c).

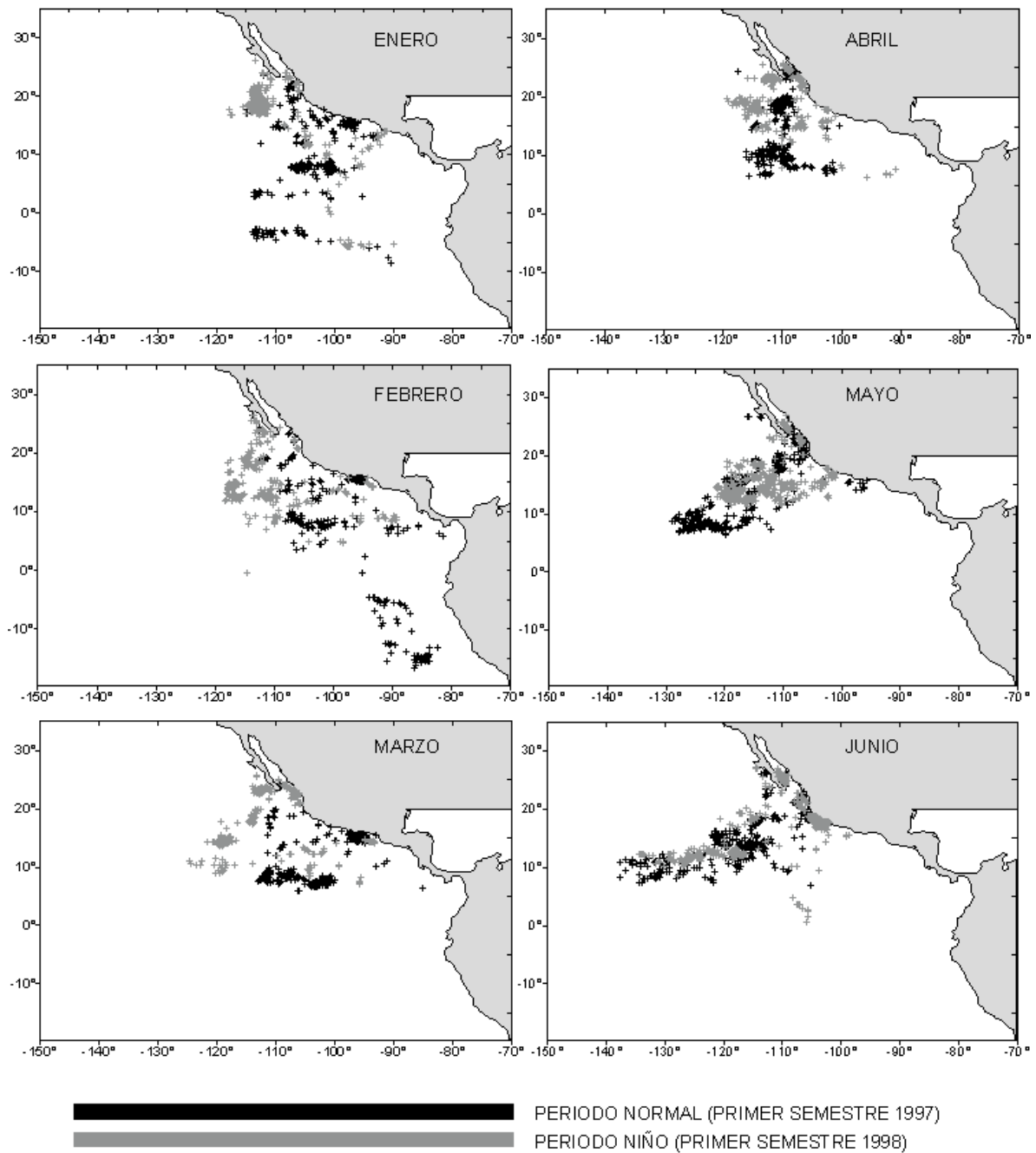
La distribución geográfica de los lances en meses equivalentes pero bajo condiciones ambientales diferentes se presenta comparativamente. En la figura 3a se contrasta el segundo semestre de los años 1996 (no-El Niño) y 1997 (El Niño). La comparación de las distribuciones durante el primer semestre de los años 1997 (no-El Niño) y 1998 (El Niño) se presenta en la figura 3b. Si para fines descriptivos de estos resultados, establecemos que las áreas tradicionales de pesca son aquellas donde opera la flota atunera mexicana bajo condiciones no-El Niño, entonces se observó un desplazamiento del recurso hacia el noroeste mientras el evento El Niño estuvo presente y este cambio fue más notorio durante el primer semestre de 1998.

Este cambio espacial se puede observar claramente en las figuras 4 y 5 donde se presentan comparativamente la frecuencia latitudinal y longitudinal de lances realizados durante el primer semestre de 1997 y el correspondiente a 1998. Latitudinalmente, durante

condiciones no-El Niño la mayor frecuencia de lances ocurrió cerca de los 8° N, en tanto que en condiciones de El Niño, fue a los 14° N (Fig. 4).

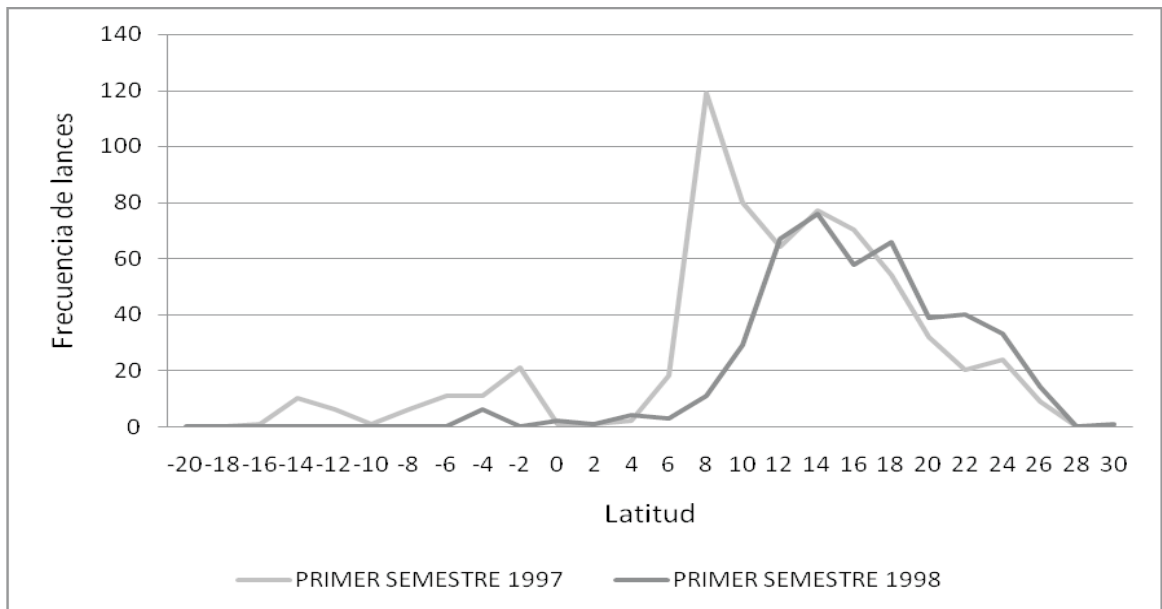


**Figura 3a.** Comparación de la distribución de lances con captura de atún aleta amarilla realizados por la flota mexicana que operó en el Océano Pacífico Oriental durante condiciones no-El Niño (segundo semestre de 1996) y durante condiciones El Niño (segundo semestre de 1997).



**Figura 3b.** Comparación de la distribución de lances con captura de atún aleta amarilla realizados por la flota mexicana que operó en el Océano Pacífico Oriental durante condiciones no-El Niño (primer semestre de 1997) y durante condiciones El Niño (primer semestre de 1998).

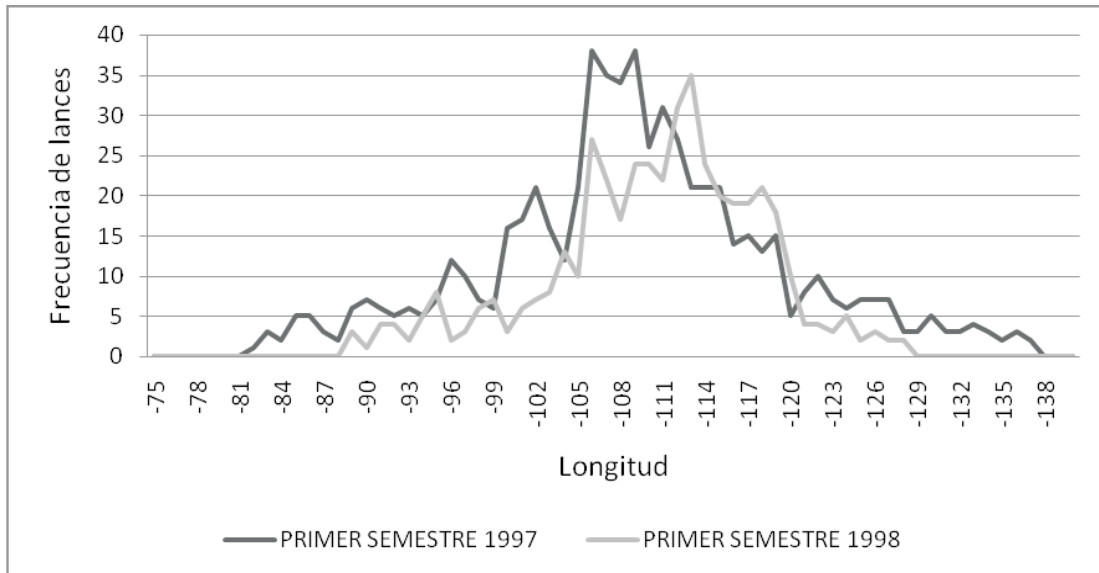




**Figura 4.** Variación latitudinal de la frecuencia de lances con capturas de atún aleta amarilla realizados por la flota atunera mexicana de cerco en el Océano Pacífico Oriental entre el primer semestre de 1997 (condiciones no-El Niño) y primer semestre de 1998 (condiciones El Niño).

Este corrimiento latitudinal también fue evidente en el extremo sur del área en que operan las embarcaciones atuneras mexicanas. Durante condiciones no-El Niño capturaron atún aleta amarilla hasta la latitud 16° S, en tanto que durante las condiciones El Niño solo realizaron capturas hasta los 5° S. Sin embargo, en el extremo norte del área de operación de las embarcaciones no se registraron cambios importantes.

Longitudinalmente, la distribución de los lances durante El Niño aparentemente se contrajo a un intervalo de longitudes menor, en comparación al intervalo observado durante condiciones no-El Niño (Fig. 5). Sin embargo, si consideramos el perfil sesgado norte-sur que presenta la línea de costa, la modificación observada en las longitudes costeras se debe principalmente al cambio latitudinal hacia el norte previamente descrito. El incremento aparente en la frecuencia de lances hacia longitudes más oceánicas durante condiciones El Niño merece una explicación similar. No así la reducción observada en las longitudes extremas que sugieren que la pesca de atún aleta amarilla durante las condiciones El Niño se realizó en aguas menos oceánicas que cuando ocurren condiciones no-El Niño.

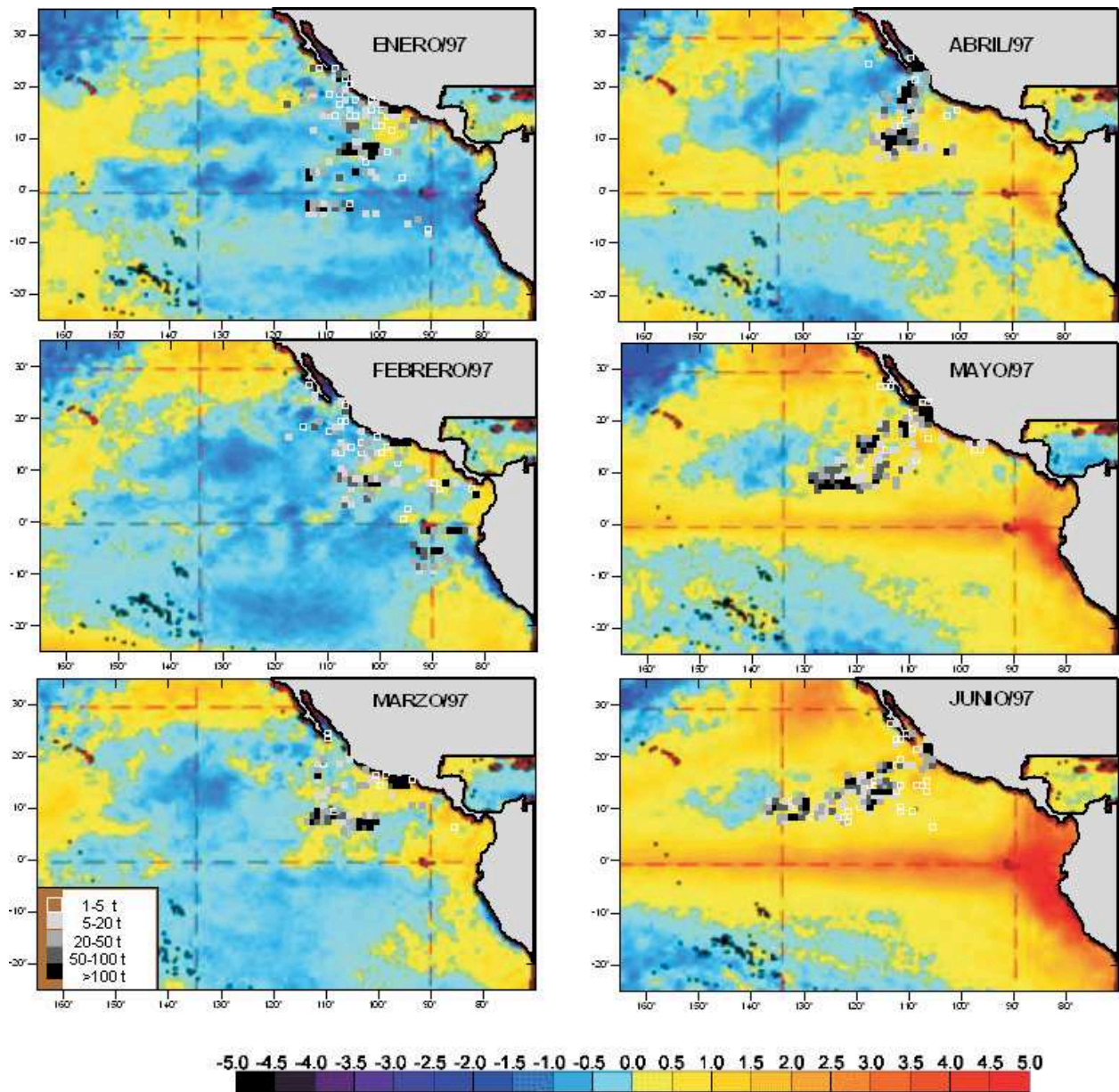


**Figura 5.** Variación longitudinal de la frecuencia de lances con capturas de atún aleta amarilla realizados por la flota atunera mexicana de cerco en el Océano Pacífico Oriental entre el primer semestre de 1997 (condiciones no-El Niño) y primer semestre de 1998 (condiciones El Niño).

En los mapas que muestran las anomalías de la temperatura superficial del mar con las capturas de atún aleta amarilla sobrepuestas (Figs. 6a, 6b y 6c), se observa que el fenómeno de El Niño inició prácticamente durante el mes de mayo de 1997, permaneciendo el calentamiento anómalo hasta junio de 1998 a lo largo del ecuador. En general, también se observa que durante el segundo semestre de 1997 y primero de 1998 casi no se realizaron capturas en las áreas donde el calentamiento fue mayor y las pocas que se hicieron presentaron valores muy bajos.

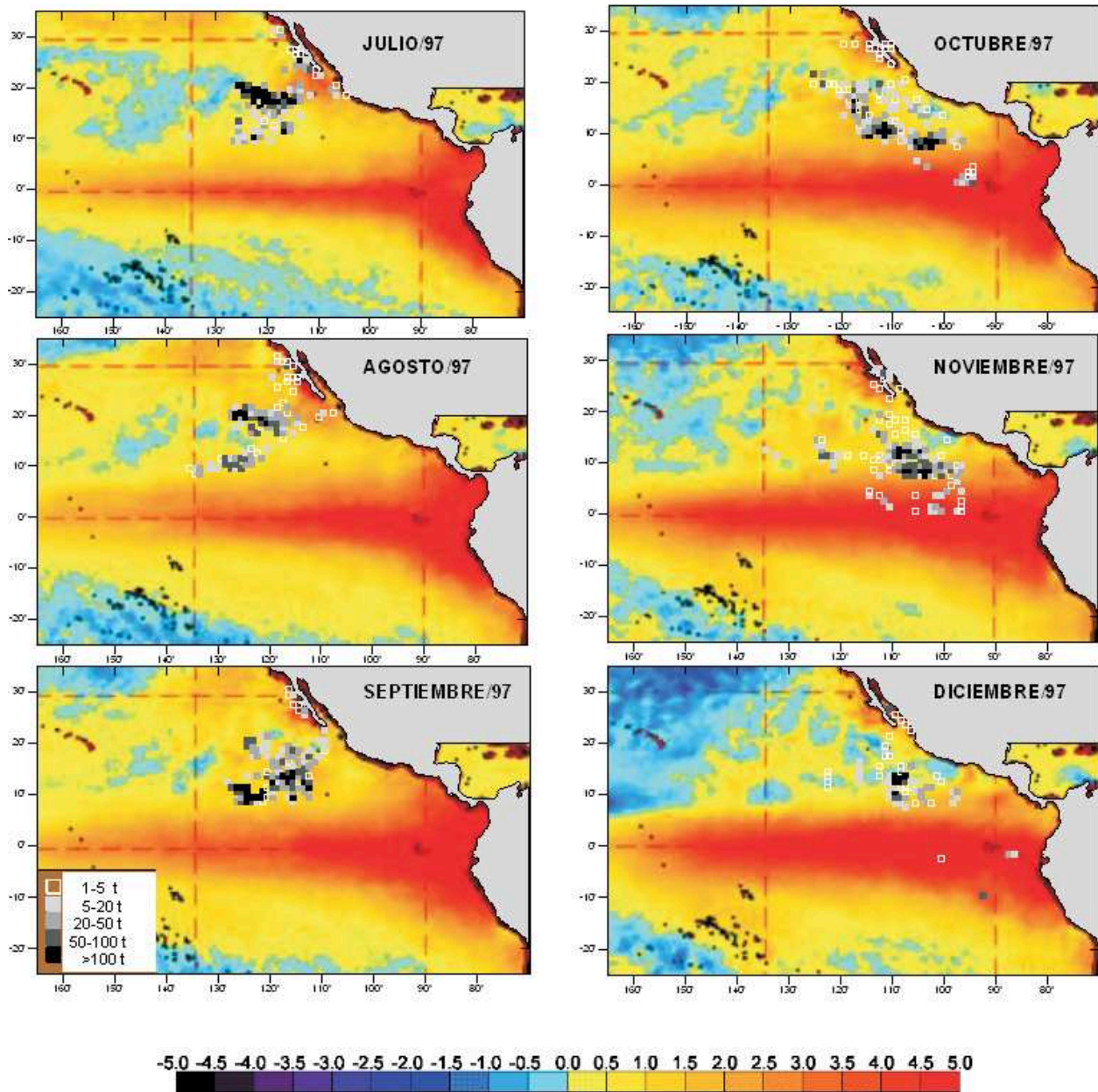
En particular, y como ya se ha hecho notar, durante las condiciones El Niño en el primer semestre de 1998 (Fig. 6c), las capturas se realizaron hacia el noroeste de la zona en que operó la flota durante condiciones no-El Niño correspondientes al primer semestre de 1997 (Fig. 6a).

Para los cinco semestres que se analizan en este trabajo, la frecuencia de los lances por valor de temperatura asociada a las capturas se presenta en la figura 7.

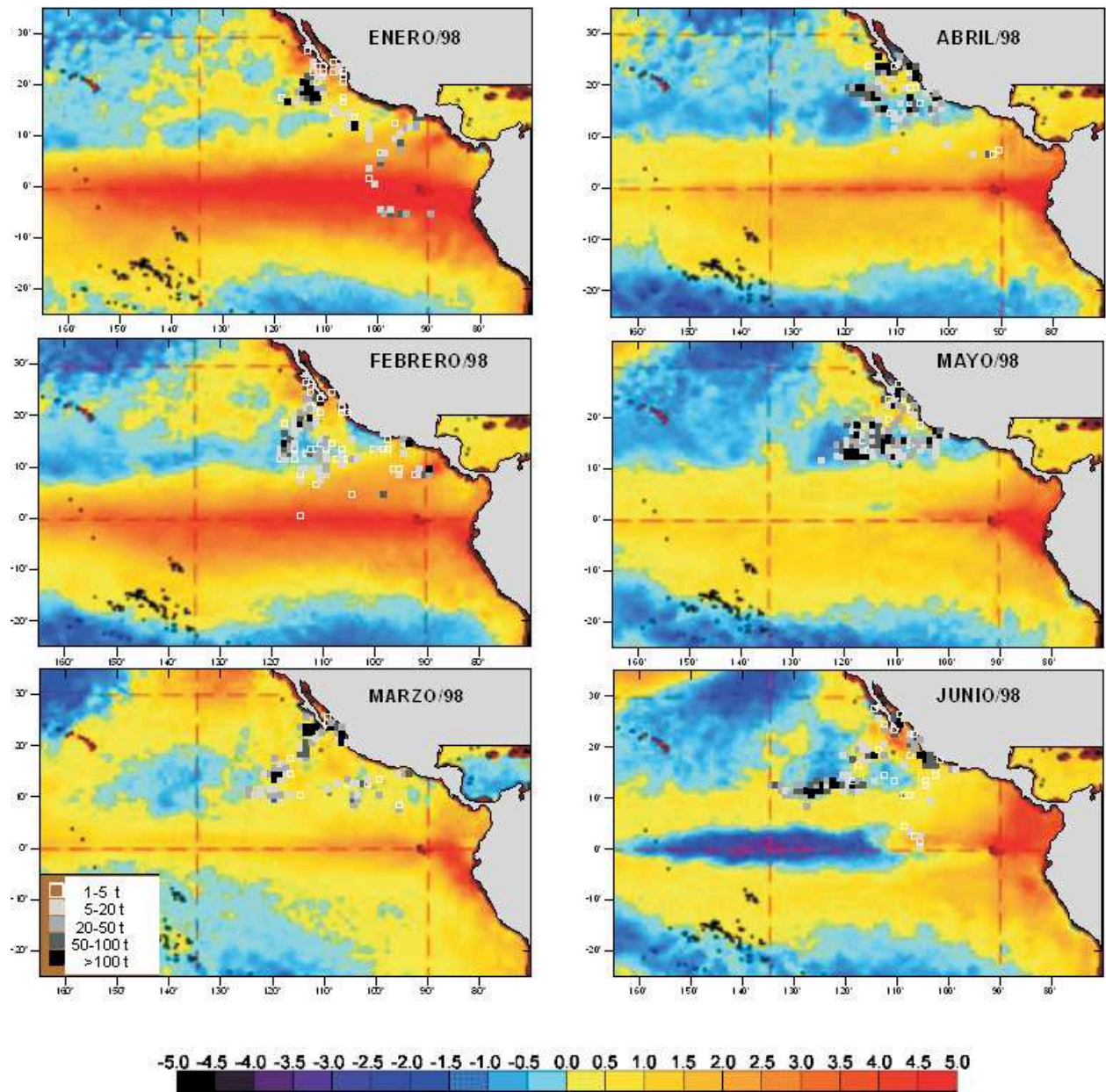


**Figura 6a.** Anomalías de la temperatura superficial del mar y capturas mensuales de atún aleta amarilla durante el primer semestre de 1997.





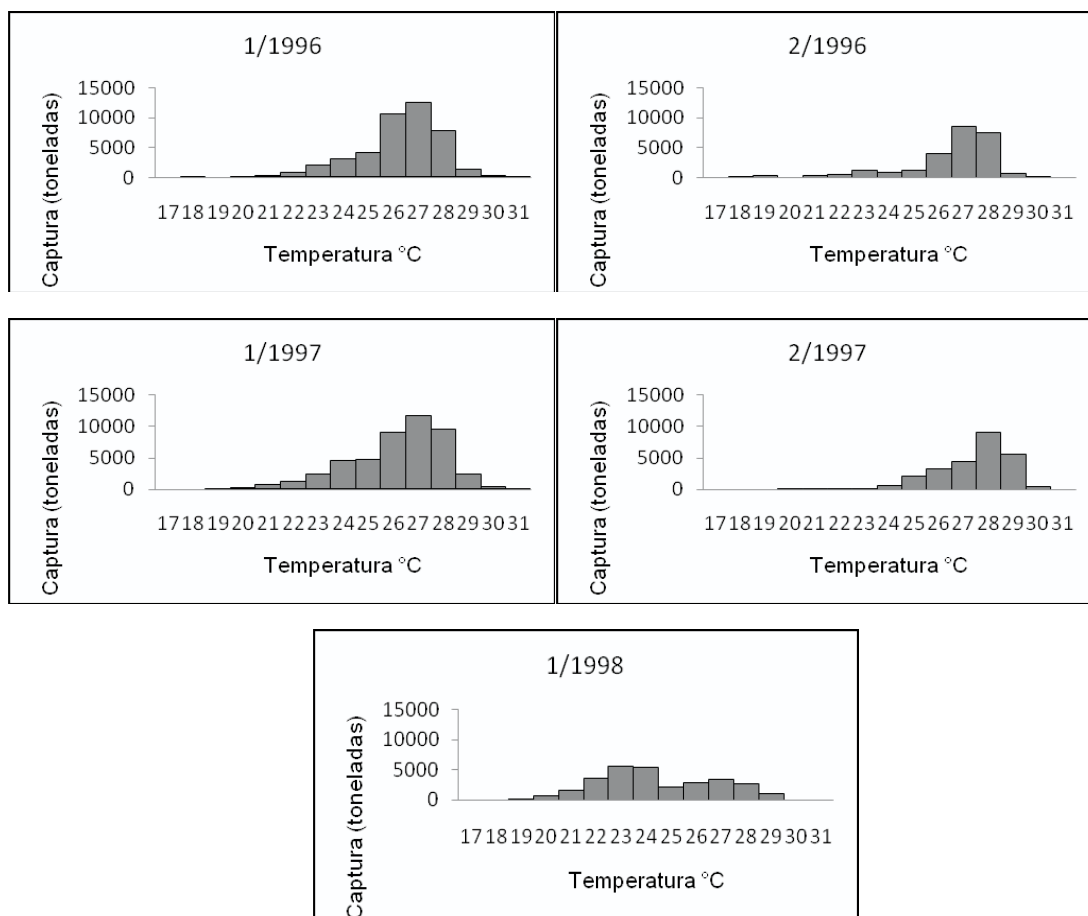
**Figura 6b.** Anomalías de la temperatura superficial del mar y capturas mensuales de atún aleta amarilla durante el segundo semestre de 1997.



**Figura 6c.** Anomalías de la temperatura superficial del mar y capturas mensuales de atún aleta amarilla durante el primer semestre de 1998.

Comparativamente se observa que la distribución de frecuencias de temperaturas entre el primer semestre de 1996 y el correspondiente a 1997 no varió significativamente.

La flota capturó atún aleta amarilla entre los 20 y 30 °C, pero la mayor frecuencia de lance se realizó en temperaturas de 26 a 28 °C. No así durante la influencia del evento El Niño en el primer semestre de 1998, cuando se observó que la mayor frecuencia de lances de atún ocurrió en temperaturas de 22 a 24 °C, aunque también ocurrió de 26 a 28 °C pero con menor frecuencia a lo observado en los dos años anteriores.



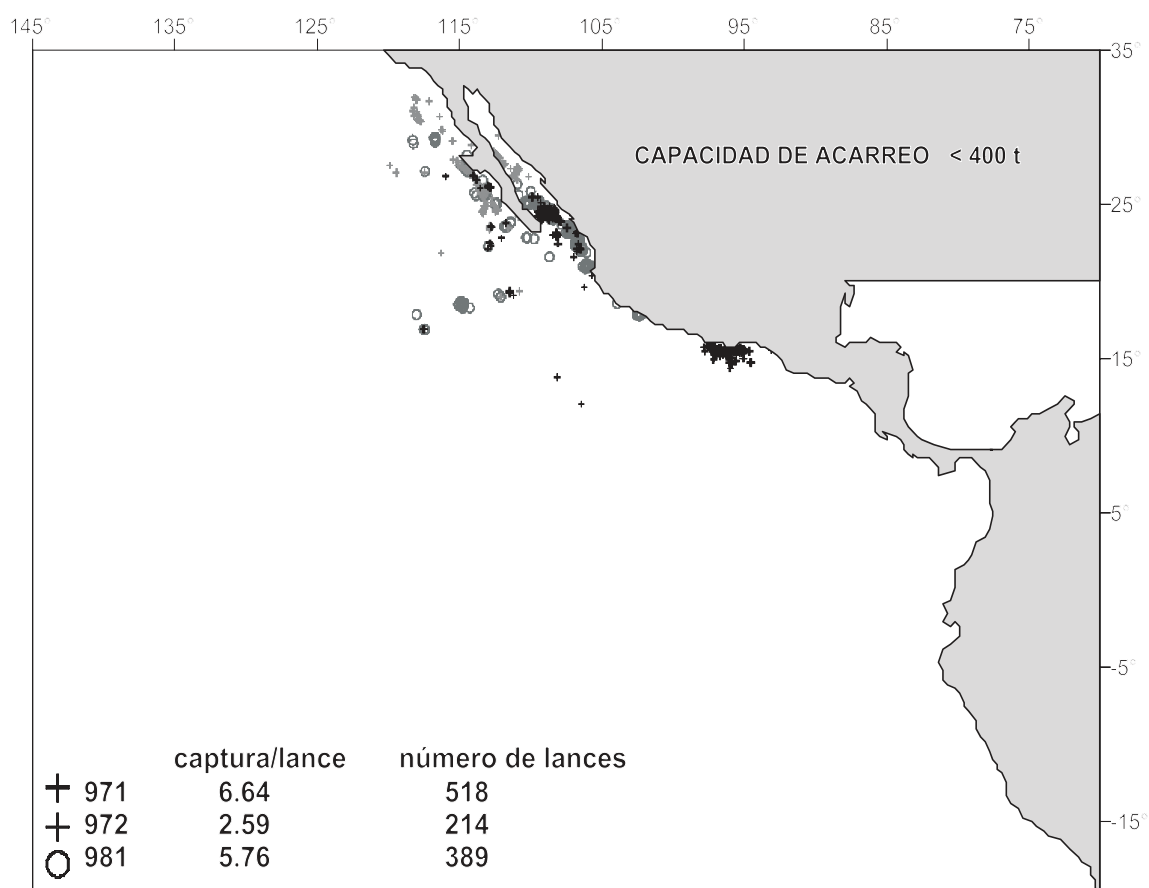
**Figura 7.** Frecuencia de lances por valor de temperatura asociado a las capturas de atún aleta amarilla en el Océano Pacífico Oriental durante cinco semestres comprendidos en el periodo de enero de 1996 a junio de 1998.

Durante el segundo semestre de 1996, las capturas se realizaron en un intervalo de temperaturas más amplio (18 - 30 °C), aunque la mayor frecuencia de lances ocurrió de 26 a 28 °C, similar a los otros semestres con condiciones no-El Niño. En comparación a este último periodo, el intervalo de temperaturas durante las condiciones El Niño en el segundo



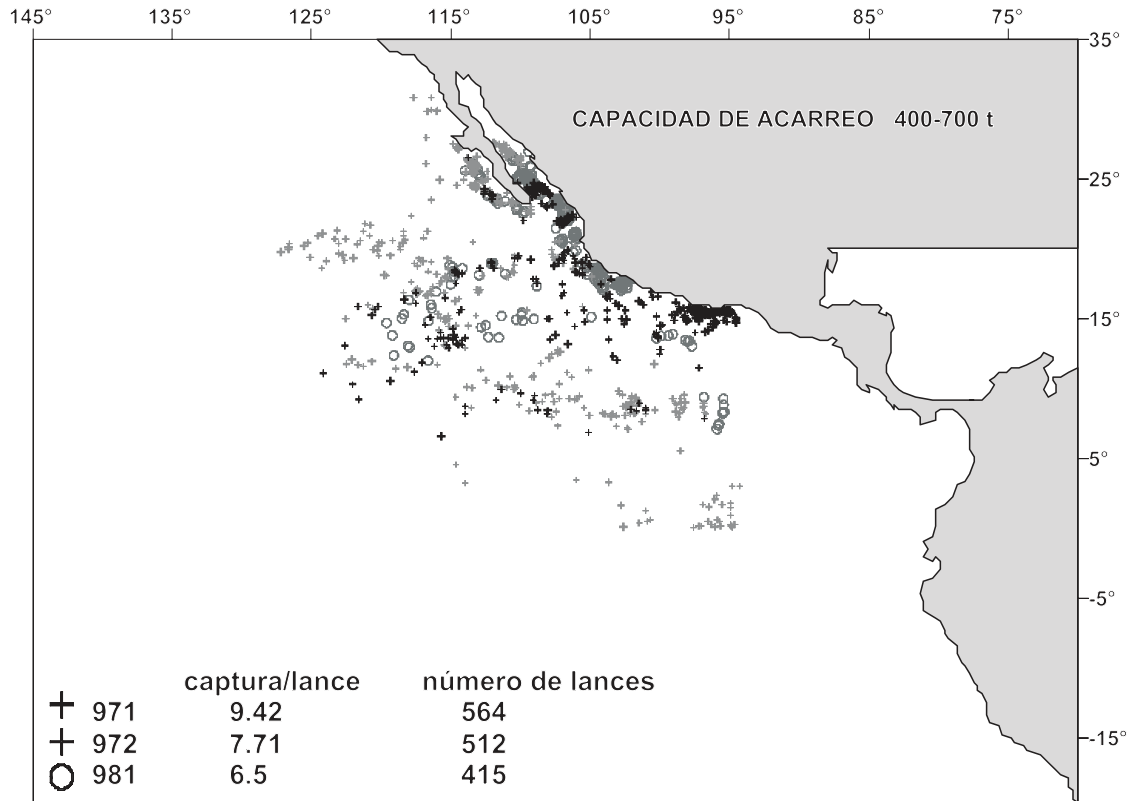
semestre de 1997 se redujo a valores de 24 a 30 °C y la mayor frecuencia de lances ocurrió de 27 a 29 °C.

La distribución de los lances con captura de atún aleta amarilla efectuados entre enero de 1997 y junio de 1998 por embarcaciones con diferentes capacidades de acarreo se presentan en las figuras 8, 9 y 10. Para cada una de las tres categorías consideradas (<400 t, 400-700 t, >700 t) se muestra comparativamente la distribución de los lances entre semestres con condiciones ambientales diferentes, así como sus correspondientes valores de captura promedio por lance y número de lances efectuados. El mayor número de registros por semestre, correspondió a las embarcaciones de mayor capacidad de acarreo (>700 t) seguidos por los registros de las embarcaciones intermedias (400-700 t), por lo que la distribución observada entre semestres para estas dos categorías corresponde a la descripción previamente realizada para toda la flota sin distinción de categorías.



**Figura 8.** Distribución de lances con captura de atún aleta amarilla realizados en el Océano Pacífico Oriental por embarcaciones con capacidad de acarreo menor a 400 toneladas durante tres semestres: primero de 1997 (971), segundo de 1997 (972) y primero de 1998 (981). Para cada uno de estos periodos se indica la captura promedio por lance y el número total de lances registrados.

Para estas dos categorías también corresponde la disminución en la captura promedio por lance descrita en la figura 2. La distribución de los lances efectuados por las embarcaciones de la categoría menor (<400 t) fue la que presentó menor variación entre semestres pero la diferencia de los valores de la captura promedio por lance fue mayor y no correspondió a la tendencia observada en las otras dos categorías.

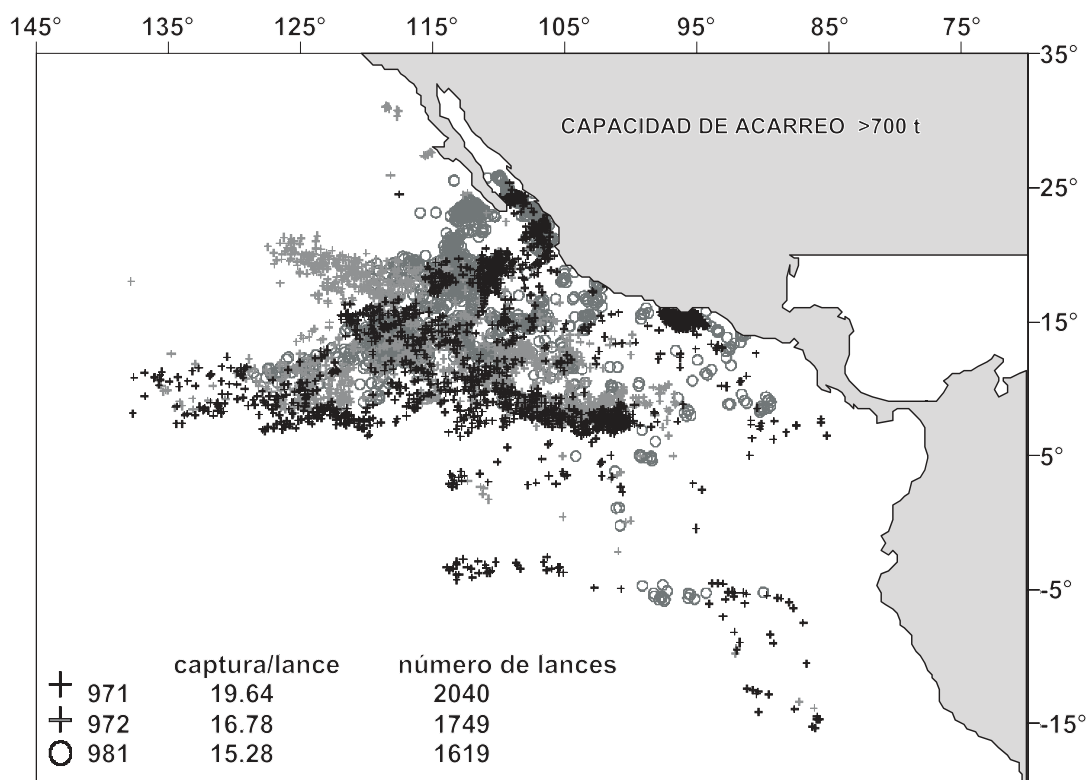


**Figura 9.** Distribución de lances con captura de atún aleta amarilla realizados en el Océano Pacífico Oriental por embarcaciones con capacidad de acarreo de 400 a 700 toneladas durante tres semestres: primero de 1997 (971), segundo de 1997 (972) y primero de 1998 (981). Para cada uno de estos periodos se indica la captura promedio por lance y el número total de lances registrados.

## DISCUSION

El resultado principal de este trabajo es que la variabilidad de la TSM en el Océano Pacífico Oriental inducida por el evento El Niño 1997-1998 condujo a un cambio en la distribución geográfica del atún aleta amarilla que impactó a la flota atunera mexicana.

Durante este evento climático que inició en el verano de 1997 y continuo hasta el verano del 1998 (Lynn *et al.* 1998), la mayor frecuencia de lances de atún cambio hacia el noroeste del área de distribución de la especie, reduciendo la extensión de operación que la flota tenía hacia aguas ecuatoriales. Asociado al cambio de distribución de la especie, se redujo la captura promedio por lance y el volumen total de capturas.



**Figura 10.** Distribución de lances con captura de atún aleta amarilla realizados en el Océano Pacífico Oriental por embarcaciones con capacidad de acarreo mayor a 700 toneladas durante tres semestres: primero de 1997 (971), segundo de 1997 (972) y primero de 1998 (981). Para cada uno de estos periodos se indica la captura promedio por lance y el número total de lances registrados.

Los atunes son peces altamente migratorios que presentan características muy especializadas, nadan continuamente para compensar su flotabilidad negativa y son capaces de viajar grandes distancias en búsqueda de alimento para satisfacer sus requerimientos energéticos. Esta estrategia ha resultado en adaptaciones morfológicas y fisiológicas, particularmente para la termorregulación y extracción eficiente del oxígeno. Consecuentemente, los cambios de temperatura y concentración de oxígeno tienen un efecto en estos organismos (Brill 1994).

Eventos climáticos, naturales como El Niño ocurren con frecuencia interanual de entre 2 y 7 años en el Pacífico Oriental, causan cambios de temperatura, de concentración de oxígeno

y otros factores. Sus efectos como mortalidad o fallas reproductivas son mas severos en poblaciones que dependen de áreas de alimentación o reproducción en aguas costeras o alrededor de islas (Fiedler 2002). Bajo esta perspectiva, un efecto posible de El Niño en el stock de atún, es que su tamaño no cambie dramáticamente, pero sí su distribución espacial. Este último tipo de respuesta ha podido ser detectado en este trabajo debido al incremento de la TSM durante el evento El Niño 1997-1998 y es este proceso en el que enfocamos nuestra atención para describirlo, pero también ofrecemos potenciales enfoques de investigación a desarrollar.

El atún aleta amarilla del Océano Pacífico se distribuye latitudinalmente desde baja California, México hasta el norte de Chile y longitudinalmente desde las costas del Pacífico Oriental hasta las del Pacífico Occidental (Rosa 1950). Dentro de esta amplia distribución se reconoce un stock relativamente independiente en el Pacífico Oriental en la que opera regularmente la flota atunera mexicana (Schaefer 1991, Suzuki et al. 1978). Las zonas de mayor concentración de atún aleta amarilla en las que la flota mexicana usualmente opera, han estado comprendidas dentro de un polígono que se forma entre la costa occidental de la península de Baja California Sur y boca del Golfo de California, a la región de las Islas Revillagigedo y Golfo de Tehuantepec, ubicado dentro de la Zona Económica Exclusiva, y una zona adicional en aguas internacionales comprendida entre los 5° y 15° de latitud Norte y hasta los 120° de longitud Oeste (Dreyfus *et al.* 1986, CIAT 1989).

Los resultados obtenidos muestran que durante el segundo semestre de 1996 y primero de 1997 el patrón de distribución del recurso correspondió a las zonas de mayor concentración antes descritas y que presentó las variaciones estacionales que típicamente se observan en un año (Ortega-García *et al.* 2003), mientras que durante el segundo semestre de 1997 y primero de 1998, el evento de El Niño ocasionó una redistribución del recurso, observándose una distribución atípica del recurso hacia el noroeste de su distribución y una ausencia del recurso frente a las aguas costeras comprendidas entre Jalisco y el Golfo de Tehuantepec, donde normalmente se le encuentra.

Aparentemente, la alta concentración de atún aleta amarilla en las cercanías de las Islas Revillagigedo, Islas Marías y costa occidental de Baja California puede ser debida a la disponibilidad de alimento resultado de la alta productividad que por surgencias ocurren en esas zonas (Roden 1972) y porque aparentemente ahí desovan durante todo el año (Knudsen 1977, Suzuki *et al.* 1978). Sin embargo, en la zona de alta concentración de atún comprendida entre los 5° - 15° N y hasta los 120° W son aguas con poca variación anual de temperatura y una termoclina somera (Au y Perryman 1985). Trasviña-Castro (2001) y Manzo -Monroy (2003) describen que en ésta zona se desarrollan giros de mesoescala los cuales son un mecanismo efectivo que favorece la productividad primaria, transportando mar adentro propiedades de las aguas costeras.

Algunos registros sugieren que El Niño 1997-1998 fue el más fuerte del siglo veinte. La comprensión de los mecanismos del desarrollo de estos eventos ha progresado grandemente en las décadas recientes y están descritos ampliamente por diferentes autores (e.g. Philander 1990, 1999, Chávez *et al.* 1999). Brevemente se ha descrito que El Niño se produce por una inestabilidad entre la temperatura superficial del mar y la presión atmosférica que resulta en variaciones de los patrones de circulación de las corrientes marinas, del viento, de la lluvia, afecta la profundidad de la termoclina, y finalmente de la productividad biológica, que repercute en la alimentación y reproducción de peces, mamíferos marinos y aves. El

hundimiento de la termoclina favorece el desarrollo de aguas superficiales cálidas porque las aguas frías que alimentarían las surgencias en la lengua fría del ecuador se hundieren. Mysak (1986) y Wyrski (1975), reportaron que las ondas Kelvin que viajan desde el Ecuador hacia el norte atrapadas a lo largo de la costa hundieren la termoclina, lo que propicia condiciones oligotróficas en toda esa zona (Fiedler *et al.*, 1991, Barber y Chavez, 1991) y dificulta la localización del atún, ya que les permite situarse en aguas más profundas o en caso de ser avistado evadir fácilmente el arte de pesca pues se puede sumergir al no encontrar la barrera térmica que se lo impida (Fiedler 1992, CIAT 1999). Aparentemente nuestros resultados apoyarían esta interpretación por que las anomalías mensuales de la captura promedio por lance de atún aleta amarilla en el Océano Pacífico Oriental durante el evento El Niño 1997-1998, muestran una tendencia negativa. Otra investigación de como el ENOS afecta la distribución espacio-temporal del atún aleta amarilla en el Pacífico Tropical Oriental fue realizada por Lu *et al.* (2001). Ellos analizaron las tasas de captura por anzuelo realizadas por la flota palangrera internacional que operó de 1962 a 1997. Reportaron que las altas tasas de captura por anzuelo fueron asociadas con regiones donde la TSM se incrementó durante años El Niño. Por el contrario, tasas bajas de captura por anzuelo fueron asociadas con regiones con baja temperatura durante años La Niña. Sobre la base de sus resultados proponen que el desplazamiento de la columna de agua preferida por los atunes influye en los desplazamientos meridionales y en las expansiones de sus rangos geográficos de distribución hacia el norte. Además, interesantemente señalan que si bien las variaciones interanuales de la TSM afectan las migraciones estacionales del atún, estas variaciones también afectan al pescador que la usa como indicador para la localización de las áreas de pesca en un sistema climáticamente perturbado, lo que seguramente afecta el éxito de la pesca.

Lynn *et al.* (1998) reportaron que El Niño 1997-1998 presentó dos máximos de intensidad: el primero fue en julio de 1997 y el segundo en febrero de 1998. Las anomalías mensuales de la captura promedio por lance de atún aleta amarilla estimadas en este trabajo muestran que durante la tendencia negativa que presenta este índice durante El Niño, los cambios más drásticos que ocurren de las anomalías coinciden con los incrementos de intensidad de El Niño (uno en agosto de 1997 y otro en febrero de 1998).

Al igual que las anomalías mensuales de la captura promedio por lance, la serie de capturas mensuales de atún aleta amarilla por la flota atunera mexicana muestran una disminución durante El Niño. Los efectos negativos en las pesquerías comúnmente son asociados a estos eventos. Sin embargo recientemente Lehodey *et al.* (2003) han reportado que el atún aleta amarilla tiene altos reclutamientos después de eventos El Niño. En sus estimaciones utilizaron un modelo poblacional dinámico donde una parte importante incluyó coeficientes de movimiento de una región a otra. Esos coeficientes fueron constantes en el tiempo inicialmente, pero sugirieron mejorar el modelo incorporando una estructura para variarlos considerando la estación del año o los movimientos de amplia escala relacionados con el ENOS.

Lo anterior coincidiría con la opinión de Bakun y Broad (2003), ya que las perturbación del sistema debida a El Niño más que tener efectos negativos en la población de atún aleta amarilla, permitiría un éxito reproductivo de la especie por lo que aparentemente aprovechan las oportunidades transitorias que ofrece el ecosistema.

Los resultados que aquí presentamos no permiten contrastar la opinión de Lehodey *et al.* (2003), nuestros resultados muestran que el calentamiento del agua produce una redistribución del stock con disminuciones en las capturas y las tasas de captura. Pero considerando los resultados en el comportamiento de las capturas en el OPO y los incrementos en el reclutamiento que se han observado (CIAT, 2004), el cambio de distribución observado pudiera ser la forma de aprovechar esas oportunidades transitorias durante años cálidos El Niño que se caracterizan por una productividad pobre.

El componente latitudinal de este movimiento podría ser explicado por el corrimiento hacia el norte de las aguas cuyas características físico-químicas y componentes biológicos son preferidos por el atún. Miller *et al.* (1985) reportaron el efecto de El Niño en la Corriente de California. Sugieren que la abundancia del zooplancton disminuyó y que las especies de tamaño grande, características de zonas de surgencia productivas, fueron remplazadas por formas pequeñas que tipifican condiciones oceánicas mucho menos productivas. Desde una perspectiva geográficamente estática (i.e. en el lugar donde se realizaron las observaciones o muestreos) esta descripción sería correcta, pero desde una perspectiva dinámica cabría esperar que las formas grandes del zooplancton también cambiaran su distribución (hacia el norte) como lo hicieron otras formas del zooplancton. El zooplancton es uno de los componentes importantes de las cadenas tróficas en sistemas altamente productivos como lo es la Corriente de California donde el atún aleta amarilla cambio su distribución hacia el norte.

El componente longitudinal del movimiento del atún durante El Niño fue en términos generales hacia áreas oceánicas, poco productivas. Por ejemplo, la zona comprendida entre los 120° y los 150° W y entre los 10° y 30° N, se caracteriza por ser muy pobre en nutrientes (Fiedler *et al.* 1991). Sin embargo, Dondonneau (1986) analizó la concentración de clorofila superficial en esa zona durante El Niño 1982-1983 y reporta para el cuarto trimestre de 1982 un repentino aumento en la concentración de clorofila. Condiciones semejantes posiblemente volvieron a presentarse durante El Niño 1997-1998, lo que explicaría la presencia del recurso en esta área. El transporte por giros de mesoescala de propiedades de aguas costeras ricas hacia mar adentro que favorecen la productividad primaria y el desarrollo de cadenas tróficas, es probablemente el mecanismo que permiten el éxito del atún en estas zonas (Trasviña-Castro 2001, Manzo –Monroy 2003).

Los giros o eddies son procesos de mesoescala asociados a los frentes oceánicos, ya que se desarrollan por la fricción diferencial de masa de agua con diferentes propiedades y diferente dirección (Bakun, 1996). La presencia de atún aleta amarilla a lo largo de los frentes ha sido ampliamente reconocida en diferentes estudios (e.g. Power y Nelson 1991, Ortega-García 1998). Debido a procesos físicos que estructuran al frente, el zooplancton se concentra en la capa superficial, cerca del frente haciéndolo disponible al atún que se desplaza en las capas superficiales. La dinámica estacional e interanual de un sistema de corrientes interactuantes cambia la intensidad y ubicación de los frentes dependiendo de la estación del año y fase del ciclo ENOS (Owen 1981). Los avances tecnológicos recientes para la detección de los frentes en una amplia cobertura geográfica y en cualquier época del año mediante el uso de imágenes satelitales es desde nuestra perspectiva, una línea de investigación que permitirá avanzar en la comprensión de los cambios de distribución del atún aleta amarilla y con ello reducir el impacto que las variaciones climáticas tienen para su localización.



Como ya se comentó, la temperatura promedio del planeta se ha incrementado constantemente durante el último siglo, probablemente debido al efecto de invernadero. Pero el clima está constantemente cambiando tanto en escala global como regional y es esta variabilidad natural en la región del Pacífico tropical, como también la inducida antropogénicamente, lo que pudiera incrementar la frecuencia de eventos El Niño. Sin embargo esta posibilidad la tenemos que entender en la perspectiva de que eventos en otras escalas de tiempo-espacio también están influyendo los sistemas y el efecto de El Niño deberá ser considerado en el contexto del efecto superpuesto con eventos de largo plazo (e.g. Fiedler 2002).

En opinión de otros autores el calentamiento global podría entenderse como el estado acentuado de un evento El Niño. Los patrones espaciales a escala global de las anomalías de diferentes variables oceánicas y atmosféricas (e.g. viento, TSM) que distinguen a los eventos ENOS, que oscilan entre fases cálidas (El Niño) y frías (La Niña), muestran cierta semejanza (pero no son idénticos) a los patrones de anomalías durante regímenes climáticos predominantes de otra escala. Aún reconociendo que los mecanismos disparadores y las regiones donde se originan pueden diferir con la escala, la dinámica similar de estos eventos climáticos motivo a utilizar los mecanismos de los eventos ENOS como modelo para entender los cambios en otras escalas de más largo plazo, como la Oscilación Decenal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés: Mantua *et al.* 1997) y aún para entender eventos de largo plazo (glaciales-interglaciales: Stott *et al.* 2002, Koutavas *et al.* 2002 ). También ha sido sugerido que el calentamiento global podría entenderse como el estado acentuado de un evento El Niño. En años recientes diferentes estudios indican que el incremento en la concentración de gases de origen antropogénico ha inducido un calentamiento global provocando cambios en el ambiente oceánico, tales como cambios en los patrones de circulación de las corrientes y en los nutrientes que impactan la productividad primaria en escalas global y regional (Rosenzweig *et al.* 2008). Los modelos indican que esto podría causar un decremento de las surgencias en el sistema del Pacífico central y ecuatorial oriental, pero se desconoce de qué manera el cambio en la producción primaria afectará la producción secundaria y como se propagarían esos cambios a través de la cadena alimenticia en niveles tróficos altos afectando potencialmente los recursos marinos en términos de pesquerías. Los sistemas de surgencias representan una condición importante para la productividad biológica en el Pacífico tropical, por lo que un cambio así podría provocar cambios de la abundancia y distribución del atún.

## REFERENCIAS

- Allen, R. y R. Punsly. 1984. Catch rates as indices of abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 18: 303-379.
- Arenas P, M. Hall y M García. 1999. Association of fauna with floating objects in the eastern Pacific Ocean. IATTC. Special report No 11. 480 pp
- Au, D.W.K. y W.L. Perryman. 1985. Dolphin habitats in the Eastern tropical Pacific. Fishery Bulletin. 83(4): 623-643.

- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean. California Sea Grant-CIBNOR, La Paz, B.C.S., México. 323 pp.
- Bakun, A. y K. Broad. 2003. Environmental 'loopholes' and fish population dynamics: comparative pattern recognition with focus on El Niño effects in the Pacific. *Fish. Oceanogr.* 12: 458–473.
- Blackburn, M., R.C. Griffiths, R.W. Holmes, y W.H. Thomas. 1962. Physical, chemical, and biological observations in the eastern tropical Pacific Ocean: Three cruises to the Gulf of Tehuantepec, 1958-1959. U.S. Fish Wildlife Serv. Spec. Sci. Rept. Fisheries. 420: 1-170.
- Brill, R.W. 1994. A review of temperature and oxygen tolerance studies of tunas pertinent to fisheries oceanography, movement models and stock assessments. *Fish. Oceanogr.* 3: 204–216.
- Broadhead, G.C., y I. Barrett. 1964. Some factors affecting the distribution and apparent abundance of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 8: 417–73.
- Chavez, F.P., P.G. Strutton, G.E. Friederich, R.A. Feely, G.C. Feldman, D.G. Foley y M. J. McPhaden. 1999. Biological and chemical response of the equatorial Pacific Ocean to the 1997-98 El Niño. *Science.* 286: 2126-2131.
- Chavez, F. P. y R. T. Barber. 1991. Regulation of primary productivity rate in the equatorial Pacific. *Limnol. Oceanogr.* 36(8): 1803-1815p.
- CIAT, 1984. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1983. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., La Jolla, CA., 272 p.* (En inglés y español).
- CIAT, 1985. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1984. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., La Jolla, CA., 270 p.* (En inglés y español).
- CIAT, 1989. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1988. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., La Jolla, CA., 288 p.* (En inglés y español).
- CIAT, 1999. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1997. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., La Jolla, CA., 310 p.* (En inglés y español).
- CIAT, 2002. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 2000. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., La Jolla, CA., 271 p.* (En inglés y español).
- CIAT, 2004. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 2003. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., La Jolla, CA. 103 p.* (En inglés y español).
- CIAT, 2008. Los atunes y peces picudos en el Océano Pacífico Oriental durante 2006. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Informe de la situación de la pesquería No. 5.*
- Cole, J.S. 1980. Synopsis of biological data on the yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788), in the Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Spec.Rep., 2: 71–150.*
- CONAPESCA. 2008. Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2005. CONAPESCA/SAGARPA, México. 220 p.

- Dondonneau, Y. 1986. Monitoring the sea surface chlorophyll concentration in the tropical Pacific: Consequences of the 1982-1983 El Niño. *Fishery Bulletin*. 84 (3): 687-695.
- Dreyfus, M., H. Robles, A. Villaseñor y M.A. González. 1986. Análisis de la variación trimestral de la abundancia relativa del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) durante el período 1981-1985 en las zonas de pesca de la flota atunera. *Contribuciones Biológicas y Tecnológico-Pesqueras*. Documento Técnico Informativo No.3: 1-15. Secretaría de Pesca, I.N.P., CRIP-Ensenada
- Fiedler, P. C., V. Philbrick y F. P. Chávez. 1991. Oceanic upwelling and productivity in the eastern tropical Pacific. *Limnol. Oceanogr.* 36(8): 1834-1850.
- Fiedler, P.C. 2002. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: review of ENSO and decadal variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 244: 265-283.
- Graham, N. E. y W. B. White. 1988. The El Niño cycle: A natural oscillator of the Pacific Ocean-Atmosphere system. *Science*. 240: 1293-1302.
- Green, R. E. 1967. Relationship of the thermocline to success of tropical tuna vessels based in California. *Fish. Ind. Res.* 3(1): 29-45.
- Kitchell, J. F., C. H. Boggs, X. He, y C. J. Walters. 1999. Keystone predators in the Central Pacific. In: *Ecosystem Approaches for Fisheries Management*. Univ. of Alaska Sea Grant. AL-SG-99-01, Fairbanks, pp. 665–683.
- Knudsen, P.F. 1977. Spawning of yellowfin tuna and the discrimination of subpopulations. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.* 17(2):117–69.
- Koutavas, A., Lynch-Stieglitz, J., Marchitto, T. M. Jr y Sachs, J. P. 2002. El Niño-like pattern in ice age tropical Pacific sea surface temperature. *Science*. 297: 226 – 230.
- Lehodey, P., F. Chai y J. Hampton. 2003. Modelling climate-related variability of tuna populations from a coupled ocean– biogeochemical-populations dynamics model. *Fish. Oceanogr.* 12: 483–494
- Lu, H.J., K.T. Lee, H.L. Lin y C.H. Liao. 2001. Spatio-temporal distribution of yellowfin tuna *Thunnus albacares* and bigeye tuna *Thunnus obesus* in the Tropical Pacific Ocean in relation to large-scale temperature fluctuation during ENSO episodes. *Fisheries Science*. 67: 1046–1052
- Lynn, R. J., T. Baumgarten, J. Garcia, C. A. Collins, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, T. Murphree, A. Shankle, F. B. Schwing, K. M. Sakuma, M. J. Tegner. 1998. The state of the California Current, 1997-1998: Transition to El Niño conditions. *CalCOFI Rep.* 39: 25-49.
- Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace y R.C. Francis. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78: 1069-1079.
- Manzo-Monroy, H. G. 2003. Sobre la influencia de giros de mesoescala en las capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico Oriental Este. Tesis Doctoral, Univ. Aut. Baja Cal., México, 173p.
- McPhaden, M. J. 1999. Genesis and evolution of the 1997-98 El Niño. *Science*, 283: 950-954.

- McPhaden, M. J., S. E. Zebiak y M.H. Glantz. 2006. ENSO as an integrating concept in earth science. *Science*. 314: 1740-1745.
- Miller, C.B., Batchelder, H.P., Brodeur, R.D. y Pearcy, W.G. 1985. Response of zooplankton and ichthyoplankton off Oregon to the El Niño event of 1983. pp. 185–187. *In: El Niño North: Niño effects in the eastern subarctic Pacific*. W.S. Wooster & D.L. Fluharty (eds) Seattle: Washington Sea Grant Program.
- Mysak, L.A. 1986. A note on El Niño, interannual variability and fisheries in the northeast Pacific Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*, 43: 1467-1468.
- Ortega-García, S., D. Lluch-Belda y P. Arenas-Fuentes. 2003. Spatial, seasonal and annual fluctuations in relative abundance of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean during 1984-1990 based on fishery CPUE analysis. *Bulletin of Marine Science*. 72 (3): 613-628.
- Owen, R.W. 1981. Fronts and eddies in the sea: mechanisms, interactions and biological effects. pp. 197-233. *In: A.R. Longhurst (Ed.). Analysis of marine ecosystems*. Academic Press, London.
- Philander, S.G.H. 1990. *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*. Academic Press, New York, 289 pp.
- Philander, S.G.H. 1999. A review of tropical ocean-atmosphere interactions. *Tellus*. 51:71–90
- Power, J.H. y Nelson, M.L. 1991. Satellite observed sea surface temperatures and yellowfin tuna catch and effort In the Gulf of Mexico. *Fish Bull US*, 89: 429-439.
- Roden, G. I. 1972. Termohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and in the Revillagigedo islands region. *J. of Physical Oceanography*. 2: 117-182.
- Rosenzweig, C., Rosenzweig C., Karoly D., Vicarelli M., Neofotis P., Wu O., Casassa G., Menzel A., Root T.L., Estrella N., Seguin B., Tryjanowski P., Liu C., Rawlins S. y A. Imeson. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*. 453 : 353-357.
- Quinn, W. H. 1992. A study of Southern Oscillation-related climatic activity for A. D. 622-1990 incorporating Nile River flood data. *El Niño: Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*. H. F. and V. M. Diaz. England, Cambridge Univ. Press: 476 pp.
- Rosa, H., Jr. 1950. Scientific and common names applied to tunas, mackerels and spearfishes of the world with notes on their geographical distribution. Washington, *FAO*, 235 p.
- Schaefer, K. M. 1991. Geographic variation in morphometric characters and gill-raker counts of yellowfin tuna *Thunnus albacares* from the Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*. 89(2): 289-297.
- Stott, L., Poulsen, C., Lund, S. y Thunell, R. 2002. Super ENSO and global climate oscillations at millennial time scales. *Science*. 297: 222 – 226.

- Sund, P.N., M. Blackburn y F. Williams. 1981. Tunas and environment in the Pacific Ocean: A review. *Ocean Mar. Biol. Ann. Rev.*, 19: 443-512.
- Suzuki, Z., P.K. Tomlinson, y M. Honma. 1978. Population structure of Pacific yellowfin tuna. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 17(5):273-441.
- Timmermann, A., J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif y E. Roeckner. 1999. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature*. 398: 694-697.
- Trasviña-Castro, A. 2001. La Circulación Costera y la Alberca Cálida Mexicana. Reunión anual de la *UGM*. Pto. Vallarta México. Noviembre del 2001.
- Wolter, K. y M. S. Timlin. 1998. Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? *Weather*. 53: 315-324.
- Wyrtki, K. 1975. Fluctuations of the dynamics topography in the Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography*. 5: 450-459.

# INFLUENCIA AMBIENTAL EN LA PESQUERÍA DE CAMARÓN

*Juana López-Martínez<sup>1</sup>, Sergio Hernández Vazquez<sup>1</sup>, Eloisa Herrera Valdivia<sup>1</sup>, Jesús Rodríguez Romero<sup>1</sup> y Ernesto A. Chávez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Unidad Guaymas. A. P. 349, Guaymas, Sonora 85465, México.

e-mail: jlopez04@cibnor.mx

<sup>2</sup>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. A. P. 592, La Paz, Baja California Sur 23000, México

## RESUMEN

Es reconocido el hecho de que las pesquerías basadas en los crustáceos peneidos presentan una alta variabilidad interanual en las capturas y se han sugerido diversas causas de esa variación tales como: a) esfuerzo pesquero, b) variables ambientales y c) una combinación de ambas fuentes. Todos ellos pueden tener un efecto tanto en la distribución de los individuos, como en la producción de la biomasa. La producción biológica del camarón puede ser influenciada por el efecto de variables climáticas con ciclos de diferente frecuencia, afectando casi cualquier fase del desarrollo del camarón. Debido a su ciclo de vida, en el que migra entre la costa y las lagunas o esteros, el camarón tiene que adaptarse a diferentes presiones osmóticas, así como a un ambiente altamente variable en el que variables como salinidad, temperatura, corrientes, vientos, definen la supervivencia larval, los procesos reproductivos y migratorios, afectando a su vez a parámetros poblacionales como el crecimiento, la mortalidad y el reclutamiento y definiendo finalmente una alta variabilidad en abundancias y biomásas, que se reflejan a su vez en las capturas. Esta alta variabilidad debe ser considerada en los esquemas de manejo pesquero del recurso, si se quiere llegar a un manejo sustentable del mismo.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las pesquerías marinas han experimentado un dramático crecimiento desde la década de los 20s, estando la principal demanda centrada en recursos marinos vivos, muchos de los cuales han mostrado disminuciones significativas en su tasa de incremento en las capturas. La necesidad de manejo de estos stock es por lo tanto mayor que nunca. Sin embargo, el manejo de un recurso está grandemente determinado por el comportamiento y dinámica del propio stock, especialmente por las fluctuaciones en la distribución y abundancia, que de hecho se ven afectadas no sólo por la pesca, sino también por variaciones en el medioambiente.

Se han desarrollado talleres con el objetivo de analizar el papel del medio ambiente en las fluctuaciones de los stock pescables (Steele y Schumacher 1999, Agostini y Oliver 2002), algunos de ellos auspiciados por la FAO a la luz de hacer frente al cambio climático global (Anónimo 2008), mismos que pugnan por un cambio en el manejo de los recursos. Esto es debido básicamente al hecho de que el enfoque que tradicionalmente ha adoptado la ciencia pesquera (en el que la investigación y manejo se ha concentrado específicamente en como la pesquería ha impactado las poblaciones, suponiendo constancia en muchos parámetros clave de la misma dinámica de los recursos y sin tomar en cuenta el efecto de la variabilidad



medioambiental), a mostrado no responder a la realidad cambiante de los recursos. El impacto de la variabilidad ambiental en la distribución y abundancia de los recursos ha sido conocido por los pescadores por centurias y solo recientemente ha sido descubierto o reconocido por la ciencia y categorizada en diferentes escalas espacio-temporales.

En los crustáceos se ha reconocido el papel que juega el medio ambiente en el éxito de la supervivencia larval (Pineda 1994, Criales y Lee 1995) y la relación estrecha entre ambiente y capturas (Mendo y Tam 1993, Sheridan 1996, Leon *et al.* 2005). En este trabajo se presenta una revisión del caso particular de la influencia de la variabilidad ambiental en las poblaciones de camarón y su efecto en las capturas.

### *Variabilidad en camarones peneidos*

En particular en los camarones peneidos, se sabe que la producción biológica puede ser influenciada por el efecto de variables climatológicas (lluvia, caudal de los ríos, perfil térmico anual o actividad solar), cuyas mediciones pueden ser indicadoras de la variación de otras variables tales como producción primaria, fotoperiodicidad, salinidad, desplazamiento de frentes, corrientes marinas, etc. El principal problema para su estudio es la dificultad de encontrar series de datos, cuya extensión permita analizar la variabilidad a largo plazo, ya que explicar la influencia y el nivel de interacción de los procesos y factores que determinan la variabilidad de la abundancia de las poblaciones de camarones peneidos, sobre todo en ecosistemas sujetos a amplias fluctuaciones ambientales, requiere del conocimiento de las características biológicas y ecológicas de estas especies, los patrones intrínsecos de la variabilidad en escalas de tiempo mayores a la vida media de los organismos, el impacto de la actividad humana, la influencia de eventos episódicos y las tendencias de condiciones ambientales a largo plazo (Del Valle-Lucero 1989).

Las pesquerías basadas en los camarones peneidos presentan una alta variabilidad interanual en las capturas (Mendo y Tam 1993, Sheridan 1996) y se han sugerido diversas causas de esa variación tales como:

- a) esfuerzo pesquero (Calderón y Burgueño 1993),
- b) variables ambientales tales como la temperatura, salinidad, aporte de nutrientes, etc. (Mendo y Tam 1993, Sheridan 1996) y
- c) una combinación de ambas fuentes (Lluch 1977, Del Valle 1989, Gracia 1989, López-Martínez 2000).

Todos ellos pueden tener un efecto tanto en la distribución de los individuos (Valenzuela 1998) como en la producción de la biomasa (Hannah 1993, Criales y Lee 1995). Si se considera que la captura es el producto de la aplicación del esfuerzo pesquero sobre una biomasa determinada, cualquier modificación en alguno de ellos puede originar variaciones en dichas capturas. En términos poblacionales, la biomasa es el resultado neto de los procesos que tienden a incrementar (crecimiento, reclutamiento, inmigración) ó a disminuir (mortalidad, emigraciones) su magnitud.

A pesar de que se reconoce que para estos recursos de ciclo de vida cortos existe una gran variabilidad interanual en diversos parámetros poblacionales (García 1988, García y Le Reste 1987, Valenzuela 1998), inducida en muchos casos por variaciones en una o varias

variables ambientales (Del Valle 1989), a nivel internacional (y aun mas a nivel nacional) son escasos los trabajos existentes que intentan evaluar la variabilidad interanual en la dinámica poblacional de los camarones, en su mayoría por carecer de series lo suficientemente largas de datos biológicos. El grueso de las aproximaciones a este tema se hace relacionando la captura a una o varias variables ambientales. Dicha captura, como ya se menciono anteriormente, es el producto de varias variables, haciendo por lo tanto difícil e inciertas aproximaciones de esta naturaleza.

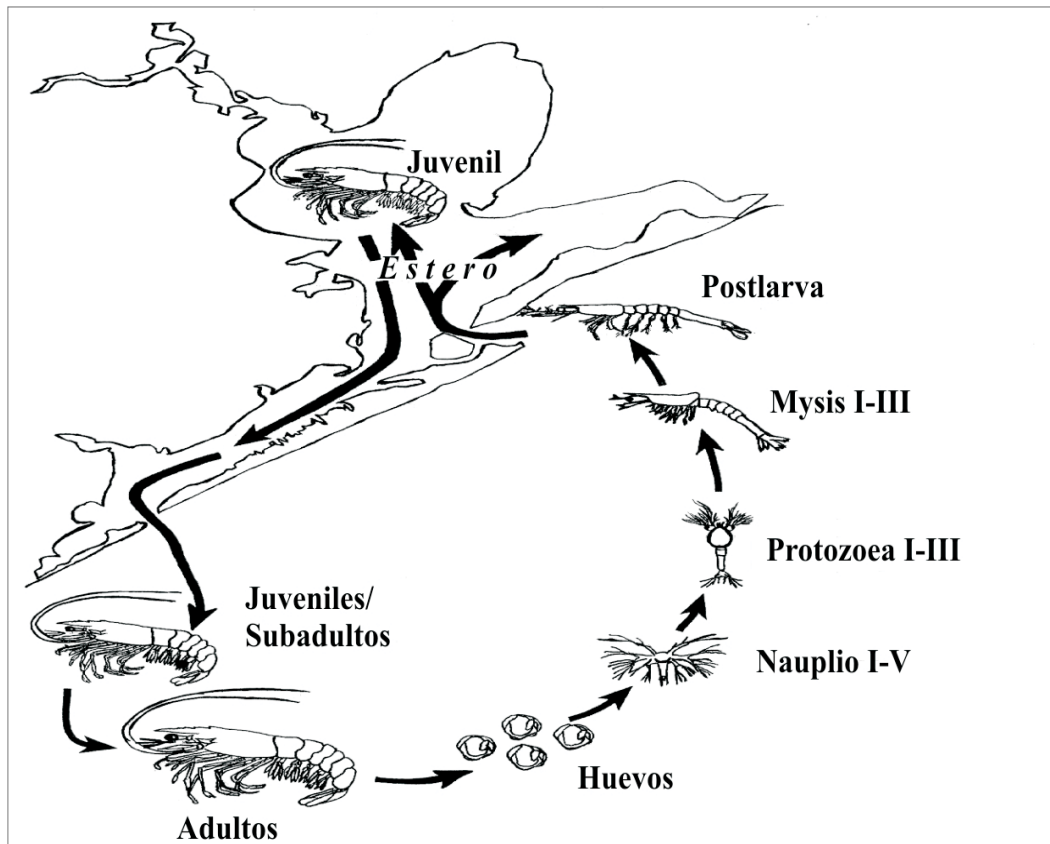
En México, el camarón es un recurso pesquero altamente cotizado por su alto valor en los diversos mercados, proporcionando una fuente considerable de divisas y generando empleos para un sector muy importante de la población pesquera (INP 2001). Actualmente, los estados del Noroeste del país aportan la mayor parte de la captura (75%), compuesta principalmente por camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (aproximadamente 70-80% del total de las capturas) y azul *Litopenaeus stylirostris* (Rodríguez de la Cruz y Chávez Ortiz, 1994, López Martínez *et al.* 2001), si bien también son pescados en menor medida el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), camarón cristal (*Farfantepenaeus brevirostris*), camarón blanco sur (*Litopenaeus occidentalis*), así como varias especies de camarón roca (*Sicyonia spp*) y camarón botalón (*Trachypenaeus spp*).

Existen muchos trabajos excelentes de diversos autores sobre las pesquerías de camarón en México (Arreguín-Sánchez 1994, Beléndez y Méndez 2007, Anónimo 2007, Wakida *et al.* 2007, Ulloa *et al.* 2007, Jurado-Molina *et al.* 2008, Beléndez y Seeffoó 2008) y algunos de ellos tratan sobre la relación ambiente-recurso. Como ya se menciono, la mayor parte de dichos trabajos se ha enfocado en la relación entre las capturas y una o varias variables ambientales (Lluch-Belda 1974, Del Valle 1989, Gracia 1989, Madrid-Vera *et al.* 2002) relacionando las lluvias y descarga de los ríos con las capturas, sin embargo, las relaciones que se han encontrado han sido contradictorias. En el Pacífico mexicano Lluch-Belda (1974) encontró una relación aparente entre las capturas y las lluvias del mismo año en el sistema Huizache-Caimanero. Lluch-Belda (1977) planteó que el éxito de las capturas de camarón en Sinaloa registradas durante los años de 1960 a 1965 se debió principalmente a un cambio fundamental en el régimen de precipitación pluvial. Sin embargo, Edwards (1978) menciona la inconsistencia de esta premisa, pues durante la temporada 1976, cuando el nivel de lluvias fue normal, la captura registrada resultó menor que en años con menor cantidad de lluvias. Esta aparente inconsistencia puede estar relacionada con el hecho de que más de un factor ambiental interviene en la determinación de la abundancia en el camarón como Sheridan (1996) lo resalta en sus resultados en la pesquería de camarón de Bahía Tortugas en el Golfo de México, en la que se efectúan predicciones anuales basadas en modelos climáticos, con los cinco predictores (climáticos y de esfuerzo pesquero) que explican la mayor varianza en las capturas. Se ha observado que los predictores cambian en cada temporada, siendo la temperatura uno de los más consistentes. Este resultado coincide con el planteamiento de Cury (1991) al evaluar la interacción ambiente-recurso mediante una representación topológica de la población y las probables respuestas biológicas al forzamiento.

A continuación revisaremos el ciclo de vida de los camarones peneidos por etapas, analizando lo reportado por varios autores sobre las diversas fuentes de variación en el ambiente, que inducen a su vez cambios en la dinámica de los camarones.

## Periodo reproductivo y fase larval

Si se considera el ciclo biológico de los camarones (Fig.1), se puede observar que estos organismos están expuestos a ambientes muy cambiantes por lo que su fisiología se modifica a lo largo de su desarrollo, orientando la selección evolutiva en favor de conservar o mejorar sus facultades de osmorregulación.

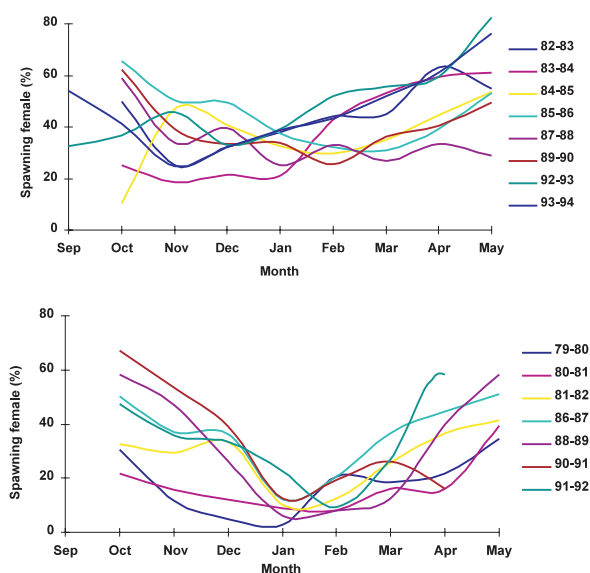


**Figura 1.** Ciclo biológico de los camarones peneidos. Este ciclo cambia dependiendo de la especie, pudiendo algunas especies entrar o no entrar a los esteros.

Eso es debido a que a lo largo de su ciclo de vida migran a través de diversos biotopos que se les puede caracterizar esencialmente por su gradiente de salinidad (García y Le Reste 1987). La puesta tiene lugar en el mar; las larvas y primeras postlarvas son planctónicas. Las postlarvas penetran a los estuarios y lagunas o se aproximan a la costa (Fig. 1). Los camarones regresan al mar cuando alcanzan una talla aproximada de 10 cm. El ciclo termina en el mar. Este ciclo tiene sus variaciones dependiendo de la especie de camarón de la que se trate pero en general la mayor parte de las especies de camarones peneidos visitan las lagunas costeras y la costa a lo largo del litoral del Pacífico Mexicano. Los sistemas estuarinos, lagunas costeras y línea de costa de las zonas tropicales y subtropicales (como el

litoral del Pacífico mexicano y Golfo de México) se caracterizan por la gran variabilidad ambiental, biológica y ecológica en todos los niveles de organización sobre un amplio rango de escalas espaciales. Sin embargo, aun cuando se conoce esta estrecha relación entre camarón-ambiente, trabajos que documenten la historia del cambio de las poblaciones de camarón y la evaluación del impacto significativo de los factores ambientales sobre las especies, constituyen registros singulares, tanto mas tratándose de sistemas estuarinos o lagunas costeras donde los ciclos semidiurnos y lunares de la marea tienen influencia significativa.

En términos reproductivos, se ha relacionado a la temperatura como factor directriz del inicio y la duración del periodo reproductivo, mostrándose variaciones interanuales en el patrón reproductivo para la misma especie de camarón y en la misma zona. En Leal-Gaxiola *et al.* 2001, se encontró una alta variabilidad interanual del período reproductivo del camarón café *F. californiensis*, con dos modos, uno donde el desove ocurre a lo largo del año y otro con dos máximos de desove, el primero más intenso ocurriendo de marzo a mayo y otro menos intenso en octubre y noviembre (Fig. 2). El período de desove extendido ocurre bajo condiciones más calidas y probablemente este asociado a eventos El Niño. El modo con dos máximos se observó principalmente bajo condiciones de temperatura de mar promedio. La ocurrencia de uno u otro modo puede tener consecuencias significantes para el manejo de la pesquería.



**Figura 2.** Patrones reproductivos del camarón café *F. californiensis* en el Golfo de California México. Fuente: Leal-Gaxiola *et al.* 2001.

Así mismo, diferencias en las condiciones medioambientales pueden producir diferentes fechas de inicios y duración del desove para la misma especie de camarón en diferentes latitudes (Aragón-Noriega 2007), esto es, presentarse variación latitudinal a todo lo largo del área de distribución de las especies.

La talla de primera madurez sexual (entendiéndose esta como la longitud a la cual existe un 50% de probabilidad de que los organismos estén maduros sexualmente) igualmente no

es estática (algo que en contadas ocasiones es considerado en términos de manejo), sino que muestra alta variabilidad interanual, tal como lo mostró López-Martínez en 2002 para camarón café *F. californiensis*, siendo menor la talla de primera madurez sexual en años fríos y mayor en años cálidos.

Una vez que se efectúa el desove y se liberan los huevos y larvas, las aguas costeras en las que habitan los estadios tempranos de camarón están sujetas a ciclos estacionales de calentamiento y enfriamiento, circulación geostrofica, además de surgencias estacionales y frentes de mareas, los cuales mantienen las aguas mezcladas y determinan una alta productividad en estas regiones. Sin embargo, el efecto de las corrientes de marea y el frente de agua de baja salinidad que se genera en la boca de los esteros, crea turbulencia, la cual determina en gran medida la dispersión de larvas de algunos organismos afectando a unos (algunas especies de peces) y favoreciendo a otros (camarón) (del Valle 1989).

Por otra parte en los esteros, la temperatura superficial y aun la subsuperficial se ve influenciada por patrones atmosféricos y oceánicos de larga escala como los vientos del norte y las tormentas tropicales. Cambios en los patrones del agua pueden así mismo resultar en alteraciones, como intensificar o mantener la dirección y velocidad de los vientos, los que a su vez influyen en el ambiente de los esteros modificando la temperatura, la salinidad, las corrientes oceánicas y las surgencias. Alteraciones en los vientos pueden causar que las corrientes oceánicas superficiales modifiquen su dirección de adentro hacia afuera, cambiando la capacidad de las larvas para moverse hacia los esteros, o de los juveniles para moverse hacia el mar, dependiendo de la temporada (Del Valle 1989). Además, vientos a lo largo de la costa influyen en la producción de las surgencias, que ejercen impacto sobre la disponibilidad del alimento, la temperatura, la salinidad y la turbiedad (Mann y Lazier 1996).

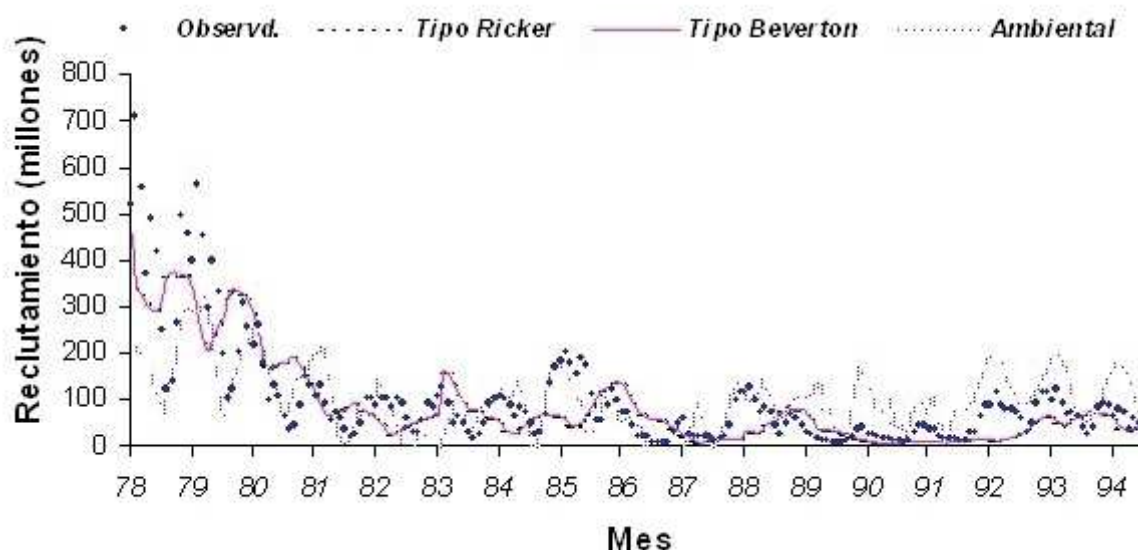
Relativamente poco común en las pesquerías, las poblaciones de camarón son mas dependientes de la supervivencia de los reclutas, más que de la supervivencia de los adultos. Aproximadamente el mismo nivel de reclutamiento puede presentarse independientemente del tamaño de la población (Rothschild y Brunenmeister 1984). Debido a lo corto de su ciclo de vida, el subsecuente éxito de la población depende directamente de la supervivencia de las postlarvas y juveniles en los esteros o áreas de crianza. Por lo mismo, se han efectuado muchas investigaciones enfocándose a la fase de postlarvas como determinantes de la magnitud del reclutamiento y éxito de las cohortes con fines predictivos (Rothschild y Brunenmeister 1984, Del Valle 1989). Es reconocido que la abundancia y composición específica de las postlarvas de camarones peneidos que llegan a la costa y en especial a la boca de los estuarios, es el resultado de la combinación de procesos físicos a nivel hidrodinámico y biológicos, específicamente en el éxito reproductivo.

El mecanismo planteado como causal del ingreso de las postlarvas a la línea de costa o a los esteros involucra principalmente a la onda de marea. La onda de marea viaja cientos de kilómetros paralela a la costa y las corrientes generadas sobre las ondas causan convergencia sobre el hundimiento de la onda y una divergencia sobre la cresta. En la convergencia las partículas con flotabilidad positiva se acumulan debido a que por su flotabilidad no pueden seguir el movimiento hacia abajo del agua. En estos sitios las larvas se acumulan (debido a que son más aptas para nadar hacia arriba que hacia abajo). Cuando las ondas internas avanzan hacia la orilla, se transporta el material atrapado en la superficie

hacia la costa, ya que cuando las ondas internas rompen fuera de la costa, se propagan hacia la orilla como elevaciones de marea.

En esta etapa existen dos hipótesis: la de transporte pasivo, aprovechando la corriente; y la de transporte activo, mediante migraciones verticales explotando las corrientes favorables, siguiendo un gradiente de salinidad (Calderón-Pérez y Poli 1987, Haas *et al.* 2001).

Las postlarvas se acercan a la costa o penetran a los estuarios cuando la marea se eleva, la cuña salina (estrato de agua marina) se mueve hacia adentro por el fondo del estuario. Las postlarvas dejan el fondo en respuesta al aumento de salinidad y son llevadas estero arriba por el agua salina (el agua dulce fluye en dirección contraria), al disminuir la marea y retraerse la cuña salina, las postlarvas se asientan en el fondo en respuesta a la disminución de la salinidad (Haas *et al.* 2001). Ya sea una u otra (o ambas) la hipótesis correcta, es claro que el éxito de los estadios tempranos de los camarones son altamente dependientes de las condiciones ambientales prevalecientes en su hábitat.



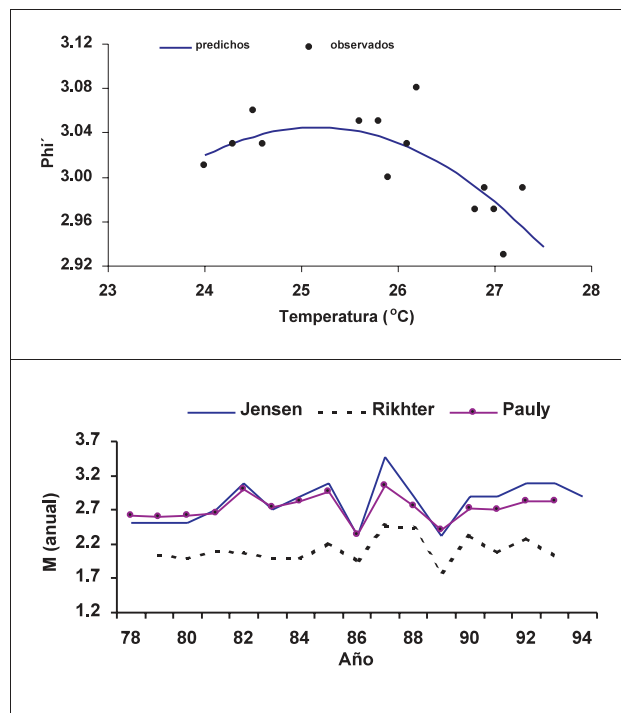
**Figura 3.** Reclutamiento mensual observado y predicho para el camarón café *F. californiensis* en Sonora con los modelos tipo Ricker, Beverton y Holt y ambiental ajustados.

Siguiendo los razonamientos anteriores, López-Martínez (2000) plantea un nuevo modelo que explica la relación parentela-progenie, mismo que retoma la hipótesis de retención de larvas en la termoclina y posterior ingreso a las lagunas siguiendo la cuña de agua de la marea, así como la temperatura del mar durante el periodo de maduración de los huevos. Para el desarrollo de dicho modelo, se probaron diversos modelos tanto lineales como no lineales, así como los modelos convencionales. Las proyecciones de los diversos modelos se presentan en la figura 3, mostrando que la adición de variables ambientales a la relación parentela-progenie explican una mayor varianza ( $R^2=0.74$ ) observada en el reclutamiento, que los modelos de Ricker ( $R^2= 0.50$ ) y Beverton-Holt ( $R^2= 0.50$ )



## Juvenil-adulto

Al igual que en los estadios larvales, las especies de camarón están sujetas a diversas escalas de variación, tanto en espacio como en tiempo en fases juvenil y adulto. En López-Martínez *et al.* (2005) se hace una revisión de los procesos que operan en escalas de alta, intermedia y baja frecuencia en las lagunas costeras y línea de costa y las potenciales variaciones de los camarones. En juveniles y adultos de camarones peneidos existen variaciones interanuales en crecimiento, mortalidad (López-Martínez *et al.* 2003) y reclutamiento (Ehrhardt y Legault 1999, López-Martínez *et al.* 2002) además de cambios en capturabilidad, originados por ampliaciones o contracciones de hábitat (Valenzuela-Quiñones 1998), las cuales pueden conjuntarse y dar como resultado la alta variabilidad interanual observada en las capturas (López-Martínez 2000).



**Figura 4.** Influencia de la temperatura en el crecimiento (tomando como indicativo la  $\phi$ ) y variaciones interanuales en la mortalidad natural estimada a través de varios métodos, para el camarón café *F. californiensis* en el Golfo de California.

El crecimiento es muy estacional en áreas donde las temperaturas de invierno disminuyen por debajo de los 16 °C y camarones que nacen en diferentes épocas del año tienen diferentes curvas de crecimiento. La mortalidad por pesca es usualmente estacional, debido a que las tasas de captura y los rendimientos decrecen y por lo tanto la pesca se concentra en unos pocos meses poco después del pico de reclutamiento. La mortalidad natural igualmente varía estacionalmente debido a cambios en la disponibilidad alimenticia

y en la composición de depredadores. En López-Martínez (2005) se presentan variaciones interanuales en crecimiento y mortalidad natural (fig. 4), mismas que muestran que el concepto tradicional de equilibrio es difícil de comprender para stock de camarones, debido a que no hay equilibrio a un nivel estacional.

Así mismo, se plantea la hipótesis de cambios de larga escala temporal y espacial en el camarón café *F. californiensis* y una potencial sustitución de especies entre camarón café y azul inducida por variaciones decadales en la temperatura, además de la intervención de ciertos factores ecológicos intrínsecos como competencia en estos procesos, en el Pacífico mexicano.

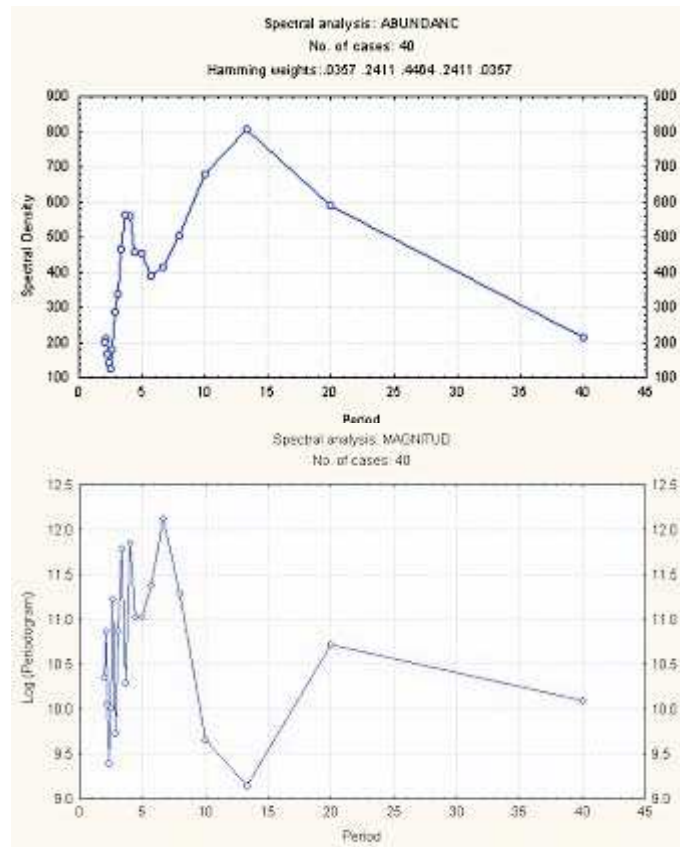
Así mismo, haciendo una revisión de la dinámica poblacional del camarón café y trabajando con series de tiempo en el dominio del tiempo y del espacio para el periodo 1962-2005, López-Martínez (no pub.) ha encontrado que la principal fuente de variación es la interanual (ciclos de 4 y 7 años), pero que existen variaciones de 13 y 20 años en la abundancia y magnitud de reclutamiento (Fig. 5).

## CONCLUSIÓN

En términos generales, se han encontrado variaciones interanuales para diversos camarones, entre ellos el camarón café *F. californiensis*, en el índice de funcionamiento del crecimiento ( $\phi$ ), en estrecha relación con la temperatura del agua de mar (López-Martínez *et al.* 2003), en la abundancia y la magnitud del reclutamiento con una tendencia descendente entre 1978 y 1982, llegando a su valor mínimo durante la última temporada y oscilaciones casi periódicas posteriores y en el periodo reproductivo (con desfases de varios meses en el inicio de la reproducción, con su consiguiente efecto en la pesquería) aparentemente en respuesta al ambiente, con extensión del periodo reproductivo en años cálidos y siendo más obvio esta variabilidad interanual en años El Niño y La Niña.

Todas estas variaciones tienen una profunda influencia en la biomasa del camarón, el desfase en la reproducción repercute en las fechas de reclutamiento a las lagunas y esteros y posteriormente a altamar, así mismo las disminuciones en crecimiento afectan las fechas en las que debería dar inicio la temporada de pesca camaronesa.

Cuando estos desfases no son tomados en cuenta (debido a la misma presión que ejercen los pescadores por iniciar la temporada de pesca), tal como sucedió en la temporada 1988-1989, se presentan temporadas malas, no por baja en las abundancias de camarón, sino porque se capturan principalmente tallas pequeñas. Debido a que el precio del camarón es diferencial a talla, con los mayores precios para tallas grandes, cuando se pescan camarones en tallas chicas en términos netos se obtienen bajos rendimientos económicos y aun cuando a medida que avanza la temporada camaronesa se incorpore a la pesquería camarón en tallas grandes, el primer viaje es decisivo de toda la temporada, toda vez que se tienen que pagar adeudos contraídos por los pescadores para avituallar las embarcaciones y frecuentemente del primer viaje se obtienen estos ingresos, viéndose afectada por lo tanto la temporada camaronesa.



**Figura 5.** Análisis espectral de la abundancia (arriba) y magnitud del reclutamiento (abajo) (periodograma) del camarón café *F. californiensis* en el Golfo de California, donde se muestran los ciclos de 7, 13 y 20 años.

Estos hechos reflejan que los camarones son especies con poblaciones altamente variables y enfatizan la necesidad de desarrollar modelos de manejo más acordes a los organismos de zonas transicionales, además pone de relieve la necesidad de tomar con precaución el uso de modelos estacionarios para el manejo del recurso.

En sus ciclos de vida, las poblaciones expresan la resultante de un proceso de selección al que han sido sometidas en el transcurso de la evolución. Cada una de ellas ha tenido que desarrollar mecanismos orientados a la persistencia de su linaje y el éxito en este proceso, incorporado como una parte de su genoma, se manifiesta implícitamente como una adecuación a la variabilidad del ambiente, que les permite poner en juego mecanismos de respuesta que se cuentan en la escalas de frecuencia temporal variable (de horas a años o incluso décadas), según los *taxa* de los que se trate. La respuesta adaptativa a los ciclos ambientales se da a nivel de cambios morfológicos, procesos metabólicos y fisiológicos, de comportamiento reproductivo, crecimiento, etc. De este modo, en los camarones los procesos biológicos se han adecuado a los ciclos de los procesos oceánicos y atmosféricos con longitudes de onda muy distintas. Nos corresponde a nosotros como ente que explota el recurso, conocer las interacciones y adaptaciones a un ambiente cambiante, con la finalidad

de llevar a cabo un aprovechamiento acorde con esa realidad cambiante para lograr la sustentabilidad.

## REFERENCIAS

- Agostini, V. y P. Oliver. 2002. Environmental variability and small pelagic fisheries in the Mediterranean Sea. Mallorca 26-29 June, 2001. Informes y estudios COPEMED. 8: 78 pp.
- Anónimo. 2007. Resultados del análisis de las poblaciones del camarón del litoral el Pacífico para implementar la veda durante el 2007. Dictamen del Instituto Nacional de la Pesca. 34 p.
- Anónimo. 2008. Report of the FAO expert workshop on climate change implications for fisheries and aquaculture, Rome, 7–9 April 2008. FAO Fisheries Report No. 870 FIEP/ 41 pp.
- Aragón Noriega, E.A. 2007. Coupling the reproductive period of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* Stimpson, 1874 (Decapoda:Penaeidae) and sea surface temperature in the Gulf of California. Biol. Mar. y Oceanogr. 42(2):167-175.
- Arreguín Sánchez, F.1994. Trends in monthly recruitment/spawning stock ratio (R/SSr): the brown shrimp *Penaeus aztecus* from the North West Gulf of Mexico. En: Workshop on stock-recruitment relationship in Australian Crustacean Fisheries. Joondoburri Conference Centre, June 1-3.
- Beléndez-Moreno, L. y A. Seeffoó-Ramos. 2008. Resultados del análisis de las poblaciones de camarón del litoral del pacífico para implementar la veda durante el 2008. Dictamen del Instituto Nacional de la Pesca. 38 p.
- Beléndez-Moreno, L. y I. Méndez-Humarán. 2007. Análisis de las poblaciones de camarón durante la veda del 2006 en el litoral del Pacífico mexicano. Dictamen del Instituto Nacional de la Pesca 89 p.
- Calderón-Pérez, J.A. y C.R. Poli. 1987. A physical approach to the postlarval *Penaeus* immigration mechanism in a mexican coastal lagoon (Crustacea: Decapoda: Penaeidae). An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. UNAM. 14(1): 147-156.
- Criales, M.M. y N.T. Lee. 1995. Larval distribution and transport of penaeoid shrimps during the presence of the Tortugas Gyre in may-june 1991. Fish. Bull. 93:471-482.
- Cury, P. 1991. Une approche théorique de l'impact de l'environnement sur la pêche. pp. 368-376. In: Pêcheries ouest-africaines. Variabilité, instabilité et changement. Cury P. y C. Roy (eds.) ORSTON Editions. Paris, Francia 525 p.
- Del Valle, Lucero I. 1989. Estrategia de producción y explotación en una laguna costera de México. Tesis de Dr. Phi. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 265 p.
- Edwards, R.R.C. 1978. The fishery and fisheries biology of Penaeid shrimp on the Pacific coast of México. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 16: 145-180.
- Ehrhardt, N.M. y C. M. Legault. 1999. Pink shrimp *Farfatepenaeus duorarum*, recruitment variability as an indicator of Florida Bay Dynamics. Estuaries. 22 (2B): 471-483.

- García, S. 1988. Tropical penaeid prawns. pp. 219-249. *In*: Gulland J.A. (ed). Fish populations dynamics (second edition). John Wiley & Sons, Ltd.
- García, S. y Le Reste. 1987. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. FAO documento técnico de pesca No. 203.
- Gracia, A. 1989. Relationship between environmental factors and white shrimp abundance in the southwestern Gulf of México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. México*, 16(1):171-182
- Haas, H.L., R.F. Shaw, K.A. Rose, M.C. Benfield, y W.R. Keithly. 2001. Regression analysis of the relationships among life-stage abundances of brown shrimp (*Penaeus aztecus*) and environmental variables in southern Louisiana, USA. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 52: 231-241.
- Hannah, R.W. 1993. Influence of environmental variation and spawning stock levels on recruitment of ocean shrimp (*Pandalus jordani*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50:612-622.
- Jurado-Molina, J., A. T. Wakida K., A. González-Cruz, M. Medellín-Ávila, A. Pech Paat, G. Núñez-Márquez, C. Monroy-García, I. Rojas-González, M. E. Sandoval-Quintero. 2008. Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el Golfo de México y Mar Caribe. Dictamen del Instituto Nacional de la Pesca. 42 p.
- Leal-Gaxiola, A., J. López-Martínez, E. A. Chávez, S. Hernández-Vázquez y F. Méndez-Tenorio. 2001. Interannual variability of the reproductive period of the brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900). *Crustaceana*. 74(9): 839-851.
- León, M. E., J. López Martínez, D. Lluch Cota, S. Hernández Vázquez y R. Puga. 2005. Decadal variability in growth of the Caribbean spiny lobster *Panulirus argus* (Decapoda: Panuliridae) in Cuban waters. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* 53 (3-4): 475-486.
- Lluch Belda, D. 1977. Diagnóstico, modelo y régimen óptimo de la pesquería de camarón de altamar del Noroeste de México. Instituto Politécnico Nacional. Tesis de doctorado. 430 p.
- Lluch-Belda, D. 1974. La pesquería de camarón de altamar en el noroeste: un análisis biológico-pesquero. *Inst. Nal. De Pesca, México:SC/9*, 76 pp.
- López-Martínez, J. 2000. Dinámica de la pesquería de camarón café *Penaeus californiensis* en el litoral sonoreño y su relación con algunos parámetros océano-atmosféricos. Septiembre del 2000. CICIMAR IPN. 175 pp.
- López-Martínez, J., F. Arreguín-Sánchez, S. Hernández-Vázquez, A.R. García-Juárez y E. Herrera-Valdivia. 2002. Dinámica poblacional del camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (HOLMES, 1900) en el golfo de California. Variabilidad interanual. *In*: M. E. Hendrickx (ed.) Contributions to the study of east Pacific crustaceans. Vol. 1 UNAM, 347 pp.
- López-Martínez, J., E.A. Chávez, S. Hernández-Vázquez, & M.O. Nevárez-Martínez. 2005. Ciclos ambientales y respuestas adaptativas de las poblaciones de camarón

- Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) en el golfo de California. pp 137-178  
 In: Contributions to the study of east Pacific crustaceans. Vol. 3 UNAM.
- López-Martínez, J., E. Morales-Bojórquez, F. Paredes Mallón, D. Lluch-Belda y C. Cervante-Valle. 2001. La pesquería de camarón de altamar en Sonora. 301-312 pp. In: Lluch-Belda D., J. Elorduy-Garay, Lluch-Cota S. y G. Ponce-Díaz. Centros de Actividad Biológica (BACs) en el Noroeste de México. CIBNOR-CICIMAR-CONACYT.
- López-Martínez, J., F. Arreguín-Sánchez, S. Hernández-Vázquez, A. R. García-Juárez y W. Valenzuela-Quiñonez. 2003. Interannual variation of growth of the brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* and relation of this variation to temperature. Fish. Res. 61: 95-105
- Madrid-Vera, J., D. Chávez-Herrera y J.M. Melchor-Aragón. 2002. relaciones entre las abundancias de los camarones comerciales de la costa de Sinaloa y las variaciones climáticas. Mem. 1er. Foro de camarón del Pacífico: evaluación y manejo, Mazatlán Sinaloa 18 y 19 de agosto de 2002. p5.
- Mann, H.K. y J.R.N. Lazier. 1996. Dynamics of marine ecosystems. Blackwell Sci. 394 pp.
- Mendo, J. y J. Tam 1993. Multiple environmental states affecting Penaeid shrimp production in Perú. Naga, the ICLARM quarterly april-july 44-46 pp.
- Pineda, J. 1994. Internal tidal bores in the near shore: water fronts, seaward gravity, currents, and the on shore transport of neustonic larvae. Jour. of Mar. Res. 52:427-458.
- Poli, C.R. 1983. Patrón de migración de las postlarvas de *Penaeus spp.* En la boca del Río Baluarte, Sinaloa, México. Tesis doctoral, U.N.A.M., C.C.H., I.C.M. y L.
- Rodríguez de la Cruz, M.C. y E. Chávez O. 1994. La Pesquería de camarón en altamar. Pacífico de México. Documento editado como conmemoración del aniversario del INP. Secretaria de Pesca 11-37 pp.
- Rothschild, B.J. y S.L. Brunenmeister. 1984. The dynamic and management of shrimp of the northern Gulf of México. In: Penaeid shrimp- their biology and management. Gulland J.A. y R.J. Rothschild (eds). Fishing New Books.
- Sheridan, P. 1996. Forecasting the fishery for pink shrimp, *Penaeus duorarum*, on the Tortugas Grounds, Florida. Fish. Bull. 94:743-755.
- Steele, J. H. y M. Schumacher. 1999. On the history of marine fisheries: Report of the Woods Hole Workshop Synopsis. Woods Hole Oceanographic Institution - Woods Hole, Massachusetts USA. Oceanography 12( 3)/1999.
- Ulloa-Ramírez, P., J.L. Patiño-Valencia y Sánchez-Regalado R. 2007. Dictamen para implementación de la veda 2007, Aguamilpa, Nayarit. 10 pp.
- Valenzuela-Quiñones, W. 1998. Variación y composición específica de las capturas de camarón en el noroeste del Pacífico mexicano: temporadas de pesca del 1989-90 a 1994-95. Tesis de maestría. CICESE. 47 pp.
- Wakida, Kusunoki A. T., A. González Cruz, M. Medellín Ávila, A. Pech Paat, I. Rojas González, G. Núñez Márquez, Ma. E. Ruiz López, A. T. Wakida-Kusunoki. 2007. Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el Golfo de México y Mar Caribe. Dictamen del Instituto Nacional de la Pesca. 43 p.



# LA PESQUERÍA DEL CALAMAR GIGANTE *Dosidicus gigas* (d'ORBIGNY, 1835) DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y SU RELACIÓN CON LA VARIABILIDAD AMBIENTAL

Manuel O. Nevárez Martínez<sup>1</sup>, Enrique Morales Bojórquez<sup>2</sup> y G. Ivan Rivera Parra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesca, Unidad Guaymas. Calle 20 Sur No. 605, Col. La Cantera, Guaymas, Sonora. 85400, México. Tel./Fax: (622) 222-5925; (622) 222-1021.

e-mail: manuel.nevarez@prodigy.net.mx.

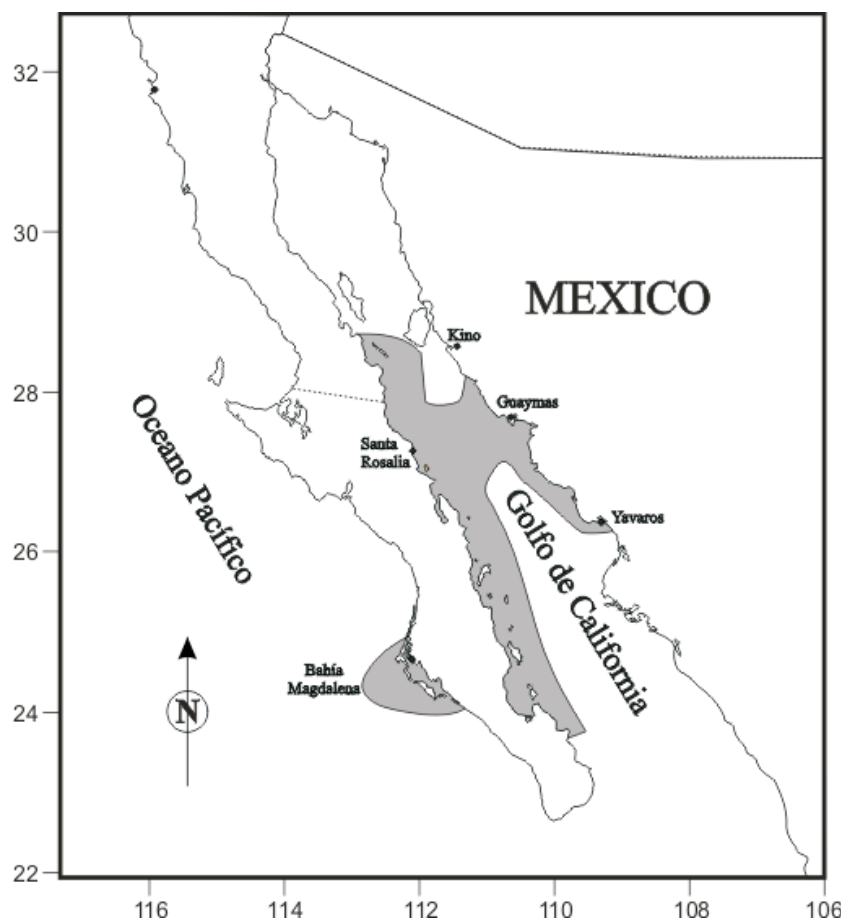
<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC (CIBNOR), Mar Bermejo 195. Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz. 23090. Baja California Sur. México.

## RESUMEN

La pesca del calamar gigante *Dosidicus gigas* se desarrolla en el Golfo de California y, en ocasiones, en la costa occidental de la península de Baja California, México. La gran abundancia del calamar que se presentó durante 1994 en la región, motivó el desarrollo de la pesca que ha demostrado como característica una alta variabilidad interanual en las capturas. Por desgracia, también es un recurso que presenta períodos de gran disminución de las capturas. Estas variaciones son probablemente relacionadas con cambios en el medio marino del Golfo, y en particular las determinadas por los episodios de El Niño. El examen de dichos efectos se complica aún más para los períodos en que las capturas son la única información disponible, ya que a menudo se cree que las capturas no son un buen indicador de la abundancia de la población. Sin embargo, en los últimos siete años de datos detallados de captura y esfuerzo se han reunido, y hemos hecho varios cruceros de prospección con el objetivo de obtener estimaciones de la abundancia y distribución de los calamares gigantes en el Golfo de California. Los resultados (entre mayo de 1996 a junio de 2002) mostraron variaciones significativas en las estimaciones de biomasa, con un alto valor de la biomasa en 1996 y disminuyendo durante 1997 y 1998. La población mostró una recuperación de la biomasa a partir de 1999. Lo mismo ocurrió en relación con el área de distribución de los calamares. Análisis de correlación indica una relación lineal positiva ( $r = 0.98$ ,  $P = 0.00044$ ) de las capturas de calamar gigante registrado en Guaymas, uno de los principales lugares de esta pesquería y las estimaciones de biomasa. A su vez, la biomasa del calamar se encontró también muy correlacionada con las capturas de sardina Monterrey ( $r = 0.98$ ,  $P = 0.0005$ ) y con las capturas totales de peces pelágicos menores ( $r = 0.87$ ,  $P = 0.011$ ), que en esta región se ha observado son de las principales presas del calamar. Por último, una débil relación ( $r = -0.51$ ,  $P = 0.240$ ) se encontró entre la biomasa del calamar y las anomalías de la temperatura superficial del mar. Sobre la base de nuestros resultados, planteamos que las capturas de calamar gigante son un buen indicador de los cambios en la abundancia de la población del calamar, y también proponemos que las fluctuaciones en la captura del calamar gigante se deben a cambios físicos y biológicos en el hábitat del calamar gigante, especialmente en términos de sus presas, lo que a su vez pueden promover cambios en la distribución y abundancia de calamar, que en última instancia, afectan la disponibilidad del calamar a la flota pesquera.

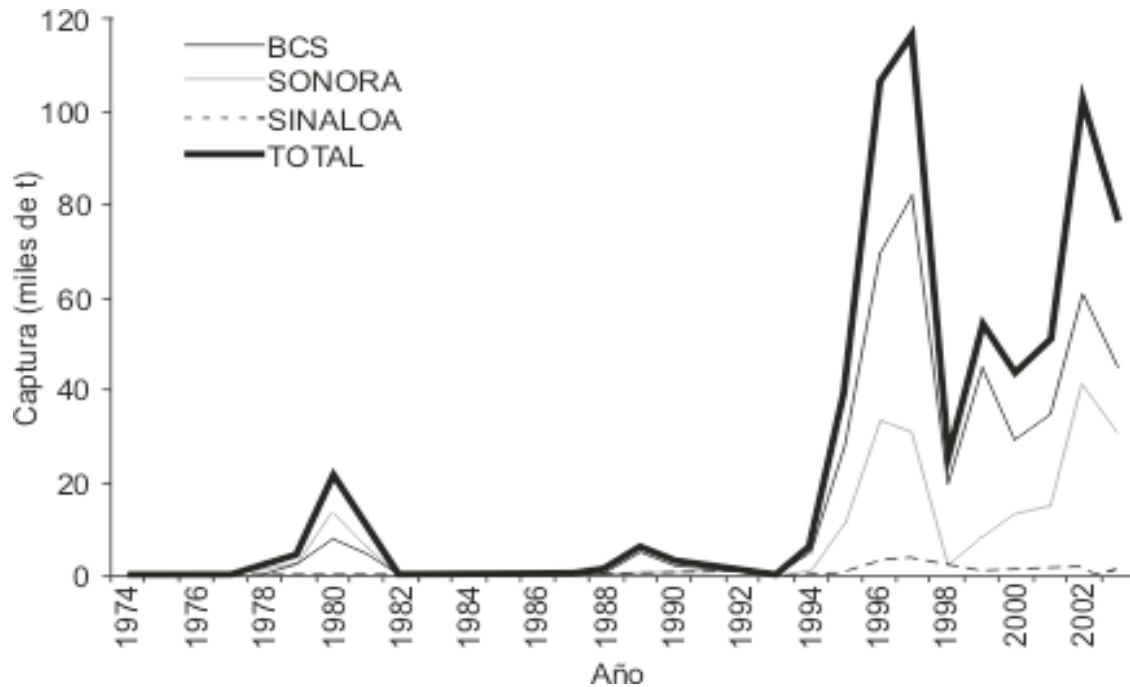
## INTRODUCCIÓN

La pesca de cefalópodos en México se encuentra limitada al recurso denominado calamar gigante *Dosidicus gigas*. La pesquería es relativamente reciente y la especie se captura principalmente dentro del Golfo de California (Fig. 1), aunque de manera esporádica se han registrado capturas importantes frente a la costa occidental de la península de Baja California (Nevárez-Martínez *et al.* 2000). Después de la caída de la pesquería durante el principio de la década de los 80's, la pesca se reinició en los años de 1994 y 1995 cuando se presentó un incremento de abundancia de calamar dentro del Golfo de California, desde entonces, las capturas han estado dominadas por una alta variabilidad interanual (Fig. 2).



**Figura 1.** Zonas de pesca de calamar gigante en el Golfo de California, México.

Esta variabilidad no solo se ha observado en su abundancia, sino también en su distribución espacial, recientemente se ha observado la presencia de *D. gigas* al norte de California y en Oregón en Estados Unidos, incluso se localizaron especímenes en el área de Vancouver en Canadá, y también existen reportes de este calamar en el Golfo de Alaska, lo cual ha representado una notable expansión de su rango de distribución dentro del Pacífico norte (Zeidberg y Robinson, 2007).



**Figura 2.** Capturas de calamar gigante en el Golfo de California, México.

De esta manera, la especie tiene amplias migraciones que se asumen relacionadas con la temperatura del agua del mar y la alimentación (Ehrhardt 1991). Markaida *et al.* (2005) mostró el patrón de migración estacional de calamar gigante dentro del Golfo de California usando datos de marcado y recaptura, mientras que el patrón de migración hacia el sur del Golfo y en la costa occidental del Pacífico es aun desconocido. La especie tiene una rápida respuesta a la variabilidad ambiental, durante el evento El Niño de 1997-1998 se observó un fuerte impacto en la abundancia y estructura poblacional de calamar gigante. En 1999 se observaron calamares maduros de talla mediana, mientras que el patrón inverso se observó en años definidos como Niña (Markaida 2006). La estructura poblacional se considera compuesta por tres cohortes (Morales-Bojórquez *et al.* 2001b), y existe evidencia del desove parcial de la especie (Díaz-Uribe *et al.* 2006). Debido a estas características y una alta mortalidad natural, la pesquería se clasifica como altamente inestable (Morales-Bojórquez *et al.* 2001a).

En términos generales, los cefalópodos presentan una gran sensibilidad a las variaciones del ambiente, hecho que es de interés dentro de la evaluación de poblaciones que están sometidas a explotación, sobre todo por el impacto que el ambiente tiene en la captura y de las medidas de administración que son aplicables bajo estas circunstancias (Agnew *et al.* 2002, Pierce *et al.* 2008). Incluso se ha llegado a plantear la hipótesis de que las poblaciones de cefalópodos podrían actuar como indicadores del cambio ambiental, o de las condiciones del ecosistema (Boyle y Rodhouse 2005). La importancia de los cefalópodos en el ecosistema y de su rápida respuesta a la variabilidad del mismo, también tiene impacto en las poblaciones de depredadores y de las presas del calamar. Esta relación ha sido recientemente documentada por Pierce *et al.* (2008), donde analizaron las interacciones del ambiente marino y de las poblaciones de cefalópodos de los mares de Europa. Por su parte Waluda *et al.* (2004) analizaron la influencia del índice de oscilación del sur y del índice transpolar sobre el ambiente marino y la abundancia de seis especies de interés comercial en el hemisferio sur del planeta y que se encuentran asociadas al sistema de corrientes del antártico circumpolar, en el estudio se incluyeron las especies de *Dosidicus gigas* (Pacífico sureste), *Loligo vulgaris reynaudii* (Atlántico sureste), *Nototodarus sloani* y *N. gouldi* (Pacífico suroeste), y las especies de *Illex argentinus* y *Loligo gahi* (Atlántico suroeste). El análisis demostró que existe una correlación de ambos índices y la abundancia de las distintas especies de calamar. Lo cual permite reconocer la amplia y rápida respuesta que tienen las poblaciones de cefalópodos a la variación del ambiente marino.

Para el caso de *Dosidicus gigas* las fluctuaciones en su abundancia ocasionan grandes variaciones en los volúmenes de captura. Se ha llegado a proponer que la población del calamar puede dejar el Golfo de California cuando las condiciones ambientales no son favorables, en especial durante los episodios El Niño (Ehrhardt *et al.* 1983, Klett 1996). Esto implicaría que los efectos de la variabilidad ambiental determinan en gran medida las capturas de calamar en la región. Sin embargo, el hecho de que los registros de captura fueron la única información sobre esta pesquería hasta el año de 1994, ha limitado conclusiones más definitivas. Este trabajo presenta los resultados de varios cruceros de investigación, llevados a cabo para investigar la relación entre la abundancia de calamar gigante y las principales características físicas del hábitat donde se distribuye, lo cual puede influir en la disponibilidad del recurso a la flota pesquera.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron siete cruceros de investigación en el Golfo de California a bordo del Buque de Investigación BIP XI del Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA). Los cruceros se realizaron dentro del periodo de 1996 a 2002, cada crucero se realizó entre los meses de Mayo y Junio, y tuvieron una duración que varió entre 15 y 20 días. Los meses seleccionados para la definición del crucero de investigación, fueron preferentemente aquellos que corresponden al periodo donde se ha observado el reclutamiento de calamar a la población (Hernández-Herrera *et al.* 1998), en algunos años se realizaron cruceros en distintos meses del año fuera del periodo de reclutamiento. Todos los cruceros se realizaron dentro de una red de estaciones distribuidas a lo largo de nueve transectos perpendiculares a la costa (Fig. 3).



**Figura 3.** Área cubierta durante los cruceros de investigación de *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México.

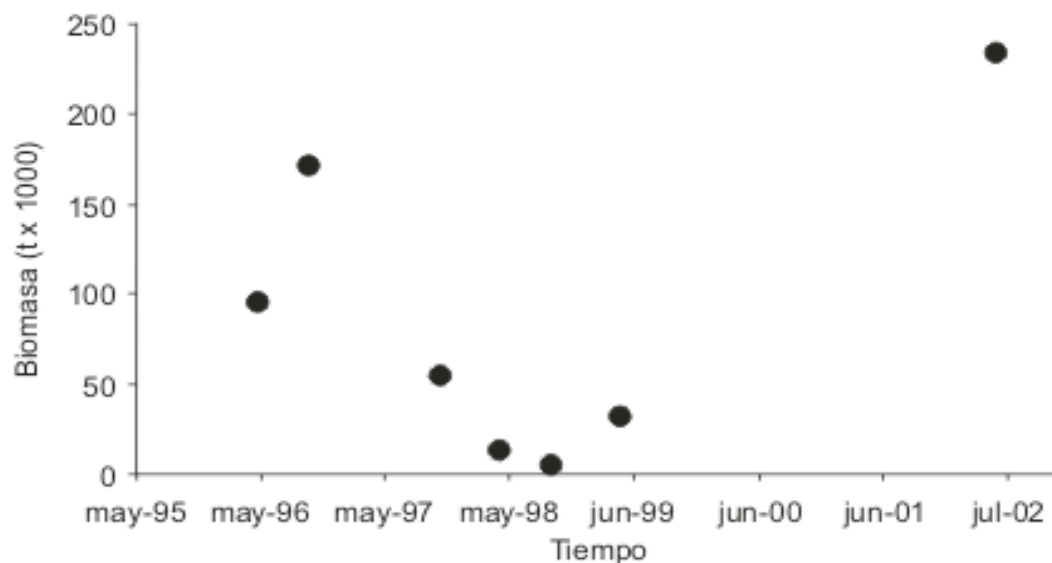
En cada operación de pesca se utilizaron seis poteras manuales y atracción con luz. Cada operación de pesca consistió de 15 minutos de iluminación previa al inicio de la actividad de captura, la cual tuvo una duración de 30 minutos. En cada estación de pesca se registró al inicio y al término de la operación de pesca la posición exacta en grados, minutos y segundos, también se registró el tiempo de iluminación previa, tiempo efectivo de pesca, número de calamares capturados y peso total de la captura por estación. De cada muestra obtenida por estación, se realizó un muestreo masivo de longitudes de manto, considerando hasta 50 organismos cuando la captura de la estación lo permitió. La temperatura del agua de mar se determinó utilizando un CTD de 0 a 70-100 m. Para cada crucero, se estimó la biomasa de la población de calamar gigante por medio de dos métodos diferentes: área barrida y muestreo aleatorio estratificado (Schaeffer *et al.* 1987, Pierce y Guerra 1994, Nevárez-Martínez *et al.* 2000). Por otro lado, se analizaron los registros de captura disponibles, considerando las capturas totales anuales para el período 1974 a 2003 y mensuales entre 1996 y 2003.

Una vez estimadas las biomásas de calamar gigante se realizaron análisis de correlación ( $P < 0.05$ ) de acuerdo a lo siguiente: a) la captura de calamar gigante desembarcado en Guaymas, Sonora, México y la biomasa de calamar, b) la captura total de pelágicos menores desembarcado en Guaymas y la biomasa de calamar, c) la captura de sardina monterrey

desembarcada en Guaymas y la biomasa de calamar, y d) la biomasa de calamar y las anomalías de temperatura superficial del mar.

## RESULTADOS

Durante el periodo analizado (mayo de 1996 a junio de 2002), las estimaciones de biomasa fluctuaron ampliamente. Para el mes de mayo de 1996 se estimó una biomasa de 94,000 t, mientras que para el mes de octubre del mismo año, la biomasa fue de 171,000 t. Para noviembre de 1997 la biomasa disminuyó a 36,000 t. Para el periodo de El Niño de 1997-1998 las capturas disminuyeron de manera consistente, y eso afectó la biomasa de calamar, estimando un valor de 3,000 t para diciembre de 1998, esta estimación representó el valor más bajo de toda la serie de tiempo. Posterior a este periodo, se observó una recuperación de la biomasa, y a partir de mayo de 1999 la biomasa aumentó a valores cercanos a las 30,000 t. Mientras que para junio de 2002 se estimó el valor más alto de la serie de tiempo con una biomasa estimada de 230,000 t (Fig. 4). Adicionalmente, se observó que hubo cambios en el patrón espacial de la especie dentro del Golfo de California. Para el periodo previo al evento El Niño 1997-1998 (en mayo de 1996) la distribución abarcó entre los 25° N y 29° N (Fig. 5). Para mayo de 1998, la población de calamar ocupó una banda más estrecha de latitud, limitada entre los 27° N y 28° N. Mientras que en los cruceros posteriores, se observó que el calamar gigante volvió a ampliar su patrón de distribución espacial a toda el área de estudio (Fig. 5).



**Figura 4.** Estimaciones de la biomasa del calamar gigante en el Golfo de California, México.



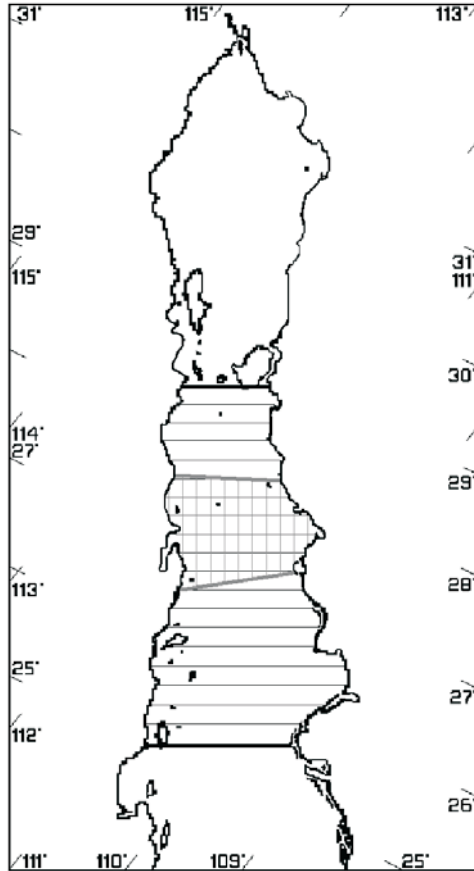
Dado que en este momento, sólo se dispone de un pequeño número de estimaciones de biomasa, es difícil encontrar correlaciones estadísticamente significativas. Sin embargo, a pesar de que solo se disponen de siete estimaciones de biomasa, se lograron realizar correlaciones lineales, con la intención de proporcionar algunas hipótesis preliminares sobre las causas de la variabilidad del calamar, lo que debería ser mayormente documentado en el futuro cercano. Así, las estimaciones de la biomasa y las capturas comerciales del calamar gigante mostraron un coeficiente de correlación de 0.98 ( $P = 0.00044$ ), lo que sugiere una relación directa entre la captura y la abundancia (Fig. 6). La relación estimada entre la biomasa de calamar y las capturas de peces pelágicos menores, indicó una correlación de 0.87 ( $P = 0.011$ ), lo que sugiere también una relación directa. Lo mismo fue observado entre las capturas de sardina monterrey y la biomasa de calamar con valor de correlación de 0.98 ( $P = 0.00051$ ). Por otro lado, la correlación entre las estimaciones de biomasa y las anomalías de la temperatura del mar llegó a -0.51, sugiriendo una cierta relación inversa ( $P = 0.24$ ), menos significativa en comparación con las tres correlaciones previas (Fig. 6).

## DISCUSIÓN

El periodo de tiempo del estudio incluyó un fuerte evento El Niño (1997-98), y los resultados mostraron que se trata de un período en el que los estimados de biomasa disminuyeron significativamente, lo que coincidió con una gran reducción del área ocupada por la población de calamar. Probables causas para explicar esto, pudieran ser corrimientos en la distribución del calamar, ya sea por movimientos verticales que hacen a los organismos no disponibles al dispositivo de muestreo o por la emigración hacia fuera del Golfo de California. Aunque en este momento no es posible diferenciar alguna de estas posibilidades, el hecho de que altas capturas de calamar gigante (12,000 t) se hayan desembarcado en Bahía Magdalena (BCS), indican que el segundo tipo de respuesta puede haber desempeñado un papel fundamental (Morales-Bojórquez *et al.* 2001a).

La disminución en la abundancia de *Dosidicus gigas* coincidió con la disminución en el área de distribución entre mayo de 1996 y noviembre de 1998; mientras que el aumento en el área de distribución para 1999 y 2002 también coincide con el aumento en la abundancia por esas fechas. Resultados similares para los pelágicos menores y peces demersales han sido encontrado por otros autores (Atkinson *et al.* 1997, Kawasaki 1993, Lluch-Belda *et al.* 1989, 1992, Nevárez-Martínez *et al.* 2001), quienes encuentran que las variaciones en la distribución geográfica dependen de las variaciones en el tamaño de la población, y están en mayor o menor grado relacionados con la variabilidad de la temperatura del agua de mar.

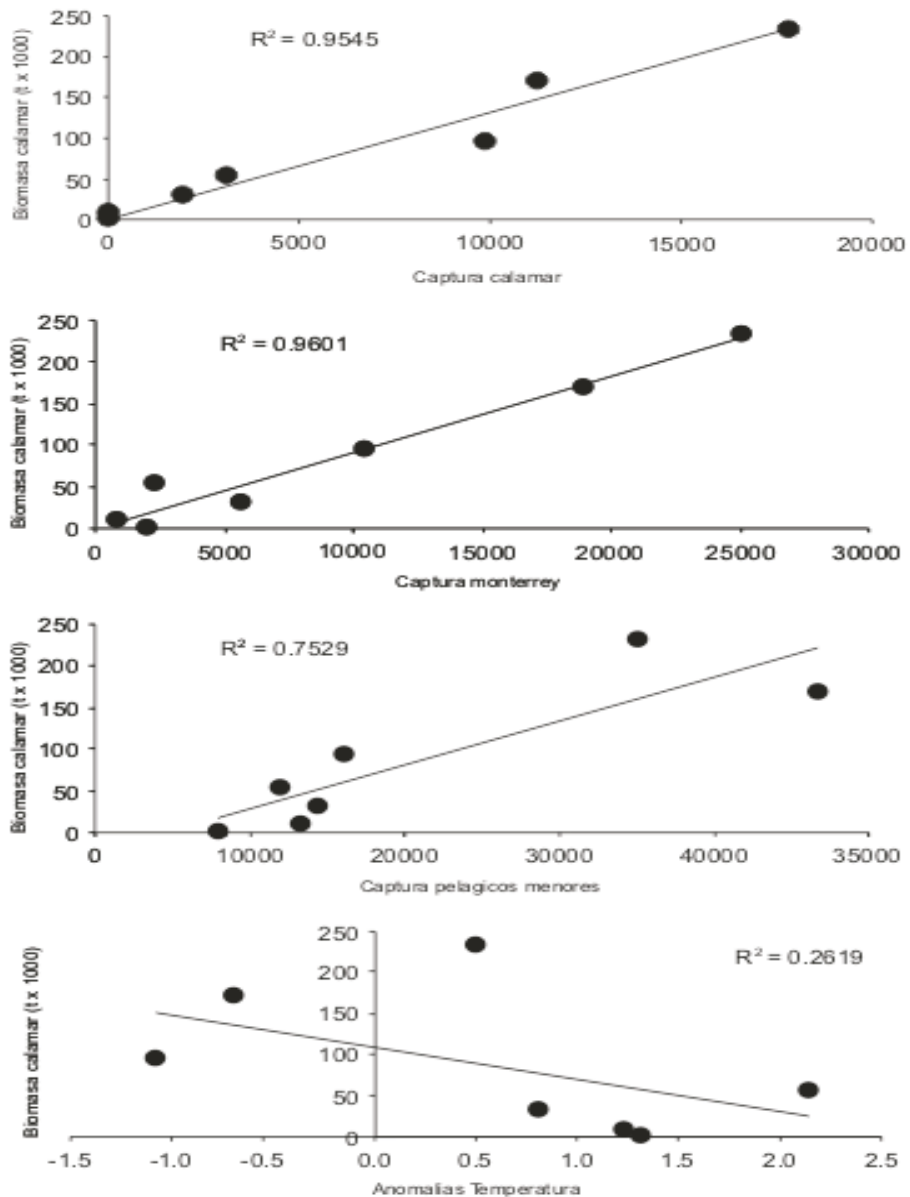
A principios de los años 1980's, se planteó la posibilidad de un impacto potencial de los calamares sobre la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California (Erhardt 1991). Los resultados aquí mostrados indican que es posible que la distribución del calamar este en función de la distribución de los pelágicos menores, especies bien conocidas por su asociación con agua templada y, por tanto, vulnerables a las anomalías positivas de la temperatura (Lluch-Belda *et al.* 1989, 1991, 1992, Nevárez-Martínez 2000).



**Figura 5.** Patrón de distribución del calamar gigante en el Golfo de California, México. El área cuadrículada corresponde a la distribución durante 1998, cuando los estimados de biomasa fueron muy bajos.

Correlaciones similares fueron encontradas entre la temperatura superficial del mar asociadas con El Niño, lo cual repercutió en un retraso en el reclutamiento de *Illex argentinus* que puede variar entre dos y cinco años (Waluda *et al.* 1999). Mientras que Agnew *et al.* (2002) al analizar la relación entre la temperatura superficial del mar y el reclutamiento de *Illex gahi*, encontraron que existe una correlación negativa que es significativa para mejorar el manejo de la pesquería. Por otra parte, los resultados de la correlación entre *Dosidicus gigas* y las sardinias que aquí se presenta, permiten asumir una relación de los calamares con la abundancia de sardina, lo que implicaría que una de las causas más probables de la disminución de la población de calamar en el golfo en 1997-98, fue consecuencia de los cambios que se presentaron en la población de sardina del Golfo de California en ese período, debida a la presencia de El Niño 1997-1998, que modifican adversamente el hábitat de esta especie (Lluch-Cota *et al.* 1999).

De acuerdo con esto, la distribución y abundancia del calamar gigante dentro del Golfo de California y su variación a escala interanual puede ser consecuencia de la distribución de su potencial alimento, más que de las características térmicas y su efecto directo sobre el calamar, ya que la relación con las anomalías de temperatura no fueron significativas.



**Figura 6.** Las relaciones entre la biomasa del calamar gigante y las capturas de calamar, las capturas de pelágicos menores, las capturas de sardina del Pacífico y la temperatura del agua.

Esta explicación es más que probable que la que relaciona directamente la abundancia de calamar gigante con las características térmicas del golfo, ya que en el periodo analizado, se encontró que el calamar se presente en un amplio intervalo de temperaturas, lo que indica una gran tolerancia de este organismo a esta variable física (Nevárez-Martínez *et al.* 2000).

Las variaciones en la temperatura podrían estar influyendo directamente en las presas potenciales de los calamares, provocando movimientos migratorios de las presas o cambios en su abundancia, con probable aumento en la mortalidad natural de los calamares. Según esta hipótesis, las presas podrían primero responder a cambios en la temperatura, y más tarde, retrasado en el tiempo, se esperaría la respuesta de la población de calamar. Incluso en las más adversas condiciones de El Niño 1997-1998, durante el periodo analizado, hubo calamar en el área del golfo entre 27.5° N y 28° N, lo que parece indicar que una población residente de calamar es posible que exista en el Golfo de California, aunque con un nivel poblacional reducido y de tallas pequeñas. Aunque este trabajo muestra correlaciones empíricas entre mediciones de anomalías de temperatura superficial del mar, y otros componentes biológicos del ecosistema, se ha podido comprobar una asociación similar a las encontradas con otros stocks explotados de calamares, donde la rápida respuesta a la variabilidad ambiental, así como los cambios en abundancia de las presas de *Dosidicus gigas* tiene una relación con la captura de la especie. Sobre esta relación, Brito *et al.* (2002) identificaron algunos valores óptimos de temperatura que se pueden asociar con la presencia de calamar gigante y de su eventual éxito en la captura.

## REFERENCIAS

- Atkinson, D. B., G. A. Rose, E. F. Murphy y C. A. Bishop. 1997. Distribution changes and abundance of northern cod (*Gadus morhua*), 1981-1993. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54 (Suppl. 1): 132-138.
- Agnew, D., J. Beddington y S. Hill. 2002. The potential use of environmental information to manage squid stocks. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 1851-1857.
- Boyle, P. y P. Rodhouse. 2005. *Cephalopods. Ecology and Fisheries.* Blackwell Sciences Ltd. Oxford.
- Brito, L., E. Alcántara-Razo y C. Salinas-Zavala. 2002. Comments and reply to jumbo squid. *Ciencias Marinas.* 28(2): 220-221.
- Díaz-Uribe, J.G., Hernández-Herrera, A., Morales-Bojórquez, E., Martínez, S., Suárez, C. y Hernández, A. 2006. Validación histológica de los estadios de madurez gonádica de las hembras de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California, México. *Ciencias Marinas.* 32(1a): 23-31.
- Erhardt, N. M. 1991. Potential impact of a seasonal migratory jumbo squid (*Dosidicus gigas*) stock on a Gulf of California sardine (*Sardinops sagax caerulea*) population. *Bull. Mar. Sci.* 49 (1/2): 325-332.
- Ehrhardt, N. M., Jacquemin, P. S., Garcia, F., Gonzalez, G., Lopez, J. M., Ortiz, J., Solis, A., 1983. On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. *In: Caddy, J. F. (Ed.), Advances in assessment of world cephalopods resources.* FAO Fish. Tech. Pap. (231): pp. 306-340.
- Hernández-Herrera, A., E. Morales-Bojórquez, M. A. Cisneros-Mata, M. O. Nevárez-Martínez y G. I. Rivera-Parra. 1998. Management strategy for the giant squid (*Dosidicus*

- gigas*) fishery in the Gulf of California, Mexico. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 39:212-218.
- Kawasaki, T. 1993. Recovery and collapse of the Far Eastern sardine. Fish. Oceanogr. 2 (3/4): 244-253.
- Klett, T. A., 1996. Pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas*, In: Casas-Valdez, M., Ponce-Díaz, G., (Eds.), Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur, Vol. I. CIB-CICIMAR-UABCS. 127-149 p.
- Lluch-Belda, D., J. M. Crawford, T. Kawasaki, A. D. MacCall, R. H. Parrish, R. H. Schwartzlose y P. E. Smith. 1989. Worldwide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem. S. African J. Mar. Sci. 8: 195-205.
- Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C.A. Salinas-Zavala y R. Schwartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 32: 105-111.
- Lluch-Belda, D., R. A. Schwartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D. Hedgecock y J. M. Crawford. 1992. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. Fish. Oceanogr. 1(4): 339-347.
- Lluch-Cota, D. B., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, S. E., López-Martínez, J., Nevárez-Martínez, M. O., Ponce-Díaz, G., Salinas-Zavala, C. A., Vega-Velázquez, A. 1999. Impactos en el Sector Pesquero. In: V. Magaña, Trasviña A. (Eds.) El Niño en México. UNAM, CICESE, CONACYT. México. 229 p.
- Markaida, U. 2006. Population structure and reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* from the Gulf of California after the 1997-1998 El Niño event. Fish. Res. 79: 28-37.
- Markaida, U., Rosenthal, J. y Gilly, W. 2005. Tagging studies on the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, Mexico. Fish. Bull. 103: 219-226.
- Morales-Bojórquez, E., M. A. Cisneros-Mata, M. O. Nevárez-Martínez y A. Hernández-Herrera. 2001a. Review of stock assessment and fishery research for *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. Fish. Res. 54:393-404.
- Morales-Bojórquez, E., S. Martínez-Aguilar, F. Arreguín-Sánchez y M. O. Nevárez-Martínez. 2001b. Estimations of catchability-at-length for the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, Mexico. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 42:167-171.
- Nevárez-Martínez, M. O., A. Hernández-Herrera, E. Morales-Bojórquez, A. Balmori-Ramírez, M. A. Cisneros-Mata y R. Morales-Azpeitia. 2000. Biomass and distribution of the jumbo squid (*Dosidicus gigas* d'Orbigny, 1835) in the Gulf of California, Mexico. Fish. Res. 49: 129-140.
- Pierce, G. J. y A. Guerra. 1994. Stock assessment methods used for cephalopod fisheries. Fish. Res. 21: 255-285.
- Pierce, G. J., D. Vasilis, A. Guerra, P. Jereb, L. Orsi, J. Bellido, I. Katara, U. Piatkowski, J. Pereira, E. Balgueriras, I. Sobrino, E. Lefkaditou, J. Wang, M. Santurtun, P. Boyle, L.

- Hastie, C. MacLeod, J. Smith, M. Viana, A. González and A. Zuur. 2008. A review of cephalopod-environment interactions in European Seas. *Hydrobiologia*. 612: 49-70.
- Schaffer, R. L., Mendenhall, W. y I. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- Waluda, C., P. Trathan y P. Rodhouse. 2004. Synchronicity in southern hemisphere squid stocks and influence of the Southern Oscillation and Trans Polar index. *Fish. Oceanogr.* 13(4): 255-266.
- Zeidberg, L.D. y B. Robinson. 2007. Invasive range expansion by the Humboldt squid, *Dosidicus gigas*, in the eastern North Pacific. *Proceedings of Natural Academy of Sciences*. 104(31): 12948-12950.



**PULSOS DE ABUNDANCIA DE LA ALMEJA CATARINA *Argopecten ventricosus* (SOWERBY II, 1842) EN BAHÍA MAGDALENA-ALMEJAS, B.C.S., MÉXICO**

*M. Verónica Morales-Zárate*

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). A. P. 128, La Paz, Baja California Sur 23000, México.

e-mail: mzarate04@cibnor.mx

## RESUMEN

La serie histórica de capturas de almeja catarina *Argopecten ventricosus* en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, México, muestra fuertes pulsos de producción. Este comportamiento ha sido relacionado con las corrientes oceánicas, con las condiciones de temperatura y con factores ecológicos como la inmigración de juveniles provenientes de la plataforma continental y el desarrollo de substratos adecuados para el asentamiento y resguardo de los mismos. Sin embargo, la comprobación y cuantificación de estos mecanismos ha sido imposible debido a la falta de información oceanográfica y de distribución de la especie en la plataforma continental. En el presente trabajo se abordan las posibles causas bajo el enfoque de modelación numérica y el transporte pasivo de partículas en las inmediaciones del complejo lagunar BMA. Se realizaron dos experimentos principales, uno enfocado a detectar zonas de retención en el interior del sistema lagunar, y el segundo para observar el intercambio de partículas entre el sistema y el océano abierto adyacente. Así mismo se exploró el papel del viento y condiciones de temperatura en la producción de pulsos de abundancia de almeja catarina en BMA provenientes de la plataforma continental. Se encontró que las partículas sembradas en el sistema tienden a quedarse dentro y concentrarse en regiones particulares, que correspondieron con la distribución real de bancos pesqueros tradicionalmente explotados en la zona, y durante condiciones poco comunes de viento se pueden presentar intrusiones importantes de partículas desde la plataforma continental al interior del sistema lagunar BMA. Se observó que para un periodo de 12 años se presentaron dos pulsos de producción de almeja (1989-1990 y 1995-1996), que concuerdan con la ocurrencia de condiciones particulares de viento, sin embargo, para otros periodos de viento similar no se observó correspondencia en los pulsos de producción. Al considerar las anomalías térmicas, se observó que para el periodo 1989-1990 y 1995-1996 las temperaturas se ubicaron en el intervalo óptimo para el desarrollo de la almeja catarina, mientras que para los periodos 1992-1993 y 1997-1998, por influencia de eventos El Niño, se presentaron fuertes anomalías positivas con temperaturas por fuera del intervalo óptimo para la especie. Los resultados son de importancia para el estudio de la zona en general, y particularmente para la modelación de procesos de deriva larval de importantes recursos pesqueros en la región.

## INTRODUCCIÓN

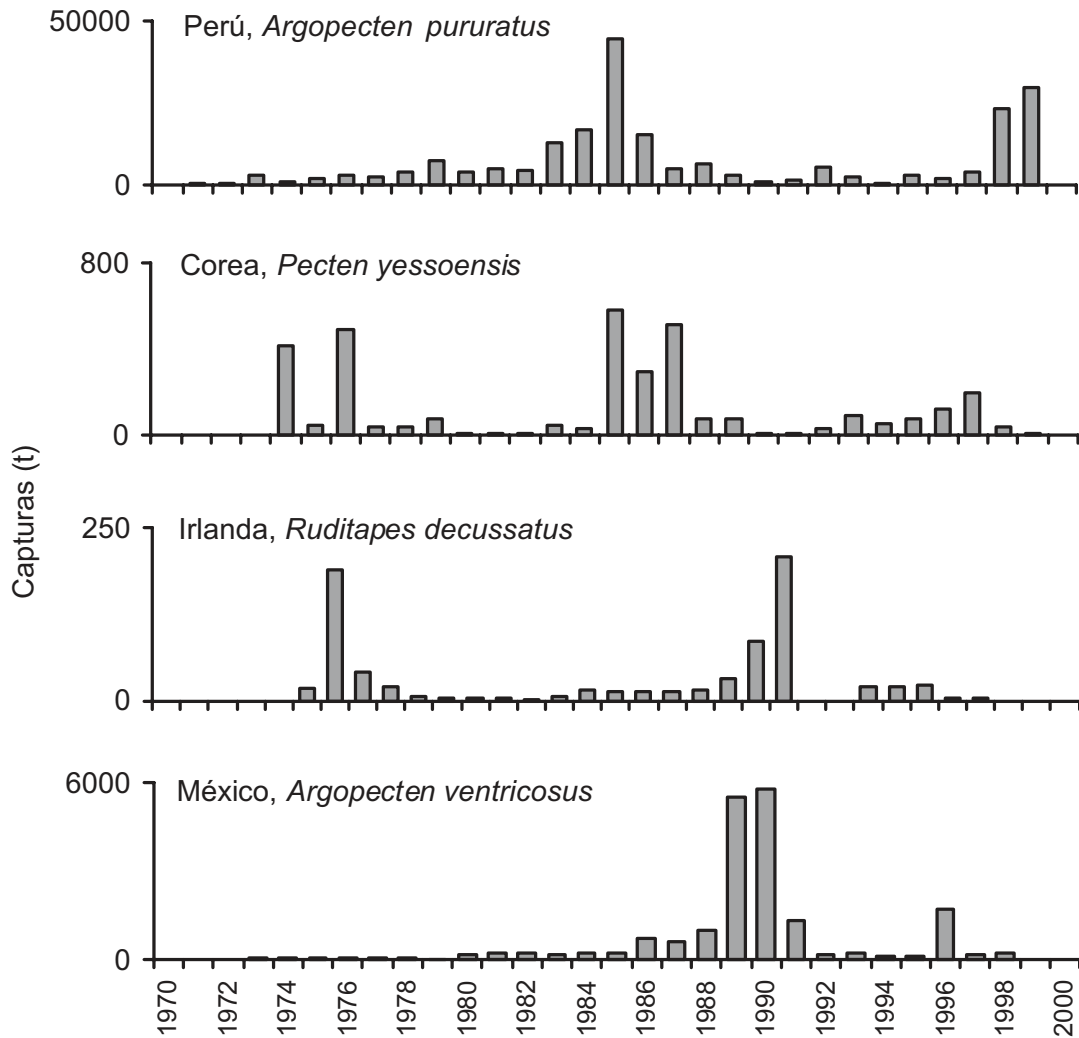
Los recursos marinos representan actualmente una importante fuente de proteína animal y la principal actividad económica de muchas comunidades costeras alrededor del mundo, por lo que el aseguramiento de su rendimiento a través de las generaciones, es una prioridad. Desafortunadamente, existen muchos casos donde las ciencias pesqueras tradicionales, creadas y construidas alrededor del objetivo de optimizar el manejo de los recursos

acuáticos, han mostrado insuficiencia e incluso han fracasado. Parte de ese fracaso resulta de haber ignorado por muchos años la influencia que tiene el ambiente en las poblaciones y comunidades marinas.

Actualmente en las ciencias pesqueras existe ya una conciencia muy clara de incorporar el clima y otras fuentes de variación de los recursos pesqueros a las estrategias de manejo, sea por adaptación de los enfoques existentes o por la implementación de nuevos esquemas. Una primera tarea es la identificación de la variabilidad de los recursos y la búsqueda de los mecanismos que la provocan. Spencer y Collie (1997) revisaron y determinaron patrones de variabilidad en 30 grupos de peces e invertebrados marinos, definiendo seis tipos con base en la magnitud de sus variaciones y su frecuencia; sin embargo, a partir de la observación y experiencia con algunos recursos en particular, se sabe que existe al menos otro patrón distinto, que se presenta en recursos económicamente importantes y que debe ser entendido y caracterizado para el adecuado diseño de estrategias de manejo. Este patrón consiste en la ocurrencia de condiciones de producción aproximadamente constantes, interrumpidas por fuertes pulsos de incremento en la misma (de hasta varios órdenes de magnitud por encima de las condiciones promedio) de uno o dos años, después de los cuales la captura vuelve a sus niveles previos. Por su forma y magnitud, es de suponer que este patrón de pulsos esté controlado por factores o procesos diferentes a aquellos que generan las respuestas ilustradas en los grupos de Spencer y Collie (1997). Este comportamiento ha sido observado en diferentes especies de moluscos bivalvos alrededor del mundo, por ejemplo en Argentina con la escalopa tehuelcha (*Aequipecten tehuelchus*), en Brasil con la escalopa de Bermuda (*Euvola ziczac*), en Chile con los ostiones del *maximus*, *Chlamys varia*), en Perú con la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*), en Estados Unidos de América con la almeja calico (*Argopecten gibbus*), en México con las almejas voladora y catarina (*Euvola vogdesi*, *Argopecten ventricosus*), en Irlanda con la almeja fina (*Ruditapes decussatus*) y en Corea con la escalopa Yesso (*Pecten yessoensis*) (F AO 1995, Stotz y Mendo 2002) (Fig. 1), en todos los casos se han observado abundancias excesivas en años sucesivos a colapsos de los bancos silvestres o situaciones inversas (colapsos tras altas abundancias). En el caso particular de la almeja Catarina en Bahía Magdalena, se registro una producción promedio de 9.6 toneladas (t) anuales en el periodo de 1981 a 1988, posteriormente, hubo un incremento en las capturas a más de 2,500 t anuales durante el periodo 1989-1990 (Maeda-Martínez, *et al.*, 2000), periodo tras el cual, la captura nuevamente cayó a menos de 9 t anuales.

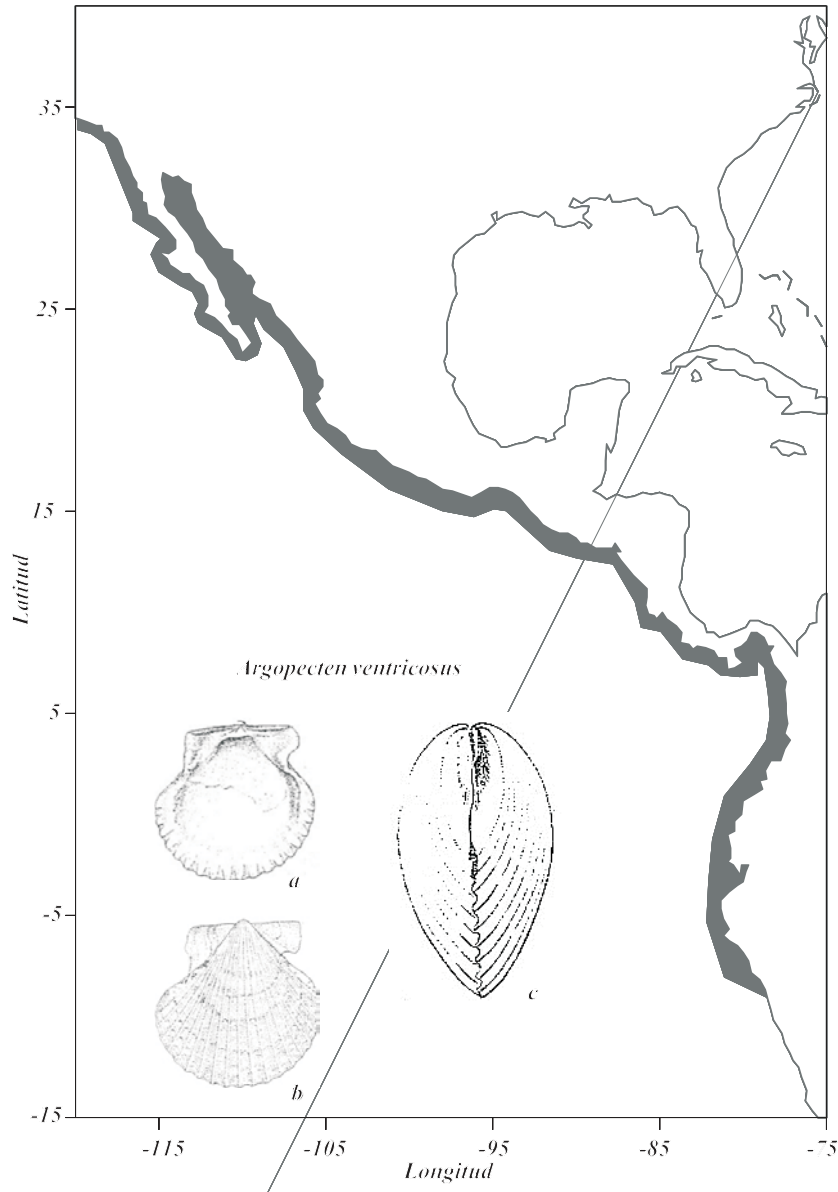
En el presente capítulo se presentan resultados de trabajos recientes donde se identifican los pulsos detectados en la pesquería de alme norte y sur (*Argopecten purpuratus*, *Chlamys vitrea*), en España y Francia con las escalopas (*Pecten* ja catarina (*Argopecten ventricosus*) y se exploran los posibles mecanismos que los generan.

La almeja catarina (Fig. 2) es un molusco bivalvo, del género *Argopecten* , bentónico de locomoción limitada, y que, como muchas otras especies de moluscos bentónicos, tiene un periodo de vida pelágico durante sus estadios larvales.



**Figura 1.** Series de captura de diversas especies de bivalvos en el mundo. *Fuente:* FAO 2000.

Se distribuye desde la costa occidental de Baja California y el Golfo de California, México, hasta Paita en Perú (Álamo y Valdivieso 1987). Aunque tiende a concentrarse en profundidades someras (1 a 30 m), se han reportado hasta los 180 m de profundidad en la plataforma continental de la costa occidental de Baja California (Maeda-Martínez *et al.* 1993).



**Figura 2.** Distribución geográfica y morfología de la almeja catarina: a) Vista interior de la valva izquierda; b) Vista exterior de la valva derecha y c) Vista lateral de la concha.

Suele formar extensos bancos en zonas someras protegidas, como son lagunas, bahías y esteros, sobre substratos que van desde arena fina y fango hasta conchuela con fondos pedregosos, fondos coralinos y semiduros cubiertos por vegetación, principalmente pastos marinos (Maeda-Martínez *et al.* 1993, Leija-Tristán *et al.* 1996).

Son organismos hermafroditas de fecundación externa, cuyo ciclo reproductivo suele ser activo pudiendo encontrar organismos sexualmente maduros a lo largo de todo el año (Mazón-Suastegui, 1999). Existen antecedentes de que la temperatura y la disponibilidad de

alimento son los dos factores externos que más influyen en el ciclo reproductivo, encontrando que las temperaturas elevadas y la escasez de alimento detienen los procesos de maduración gonádica (Luna-González 1997, Cruz *et al*, 2000), mientras que los periodos de desove masivo coinciden con los cambios de salinidad y el descenso de temperatura durante los meses de febrero a marzo y de septiembre a octubre en las costas de Baja California Sur, con retrasos dependiendo de las condiciones ambientales (Trip-Quezada, 1985).

Las larvas de diversas especies de pectínidos incluyendo a la almeja Catarina se asientan cuando alcanzan el estadio de pediveliger (180 – 200  $\mu\text{m}$ ) aunque, a diferencia de otros bivalvos, los pectínidos no se fijan al substrato de manera permanente, sino que tienen la capacidad de reptar hasta encontrar un sitio adecuado.

Si por alguna causa el substrato elegido no resulta favorable, la postlarva tiene la capacidad de abandonar el substrato y reptar con el biso o con el pie hasta encontrar un sitio adecuado (Uriarte y Abarca 2002).

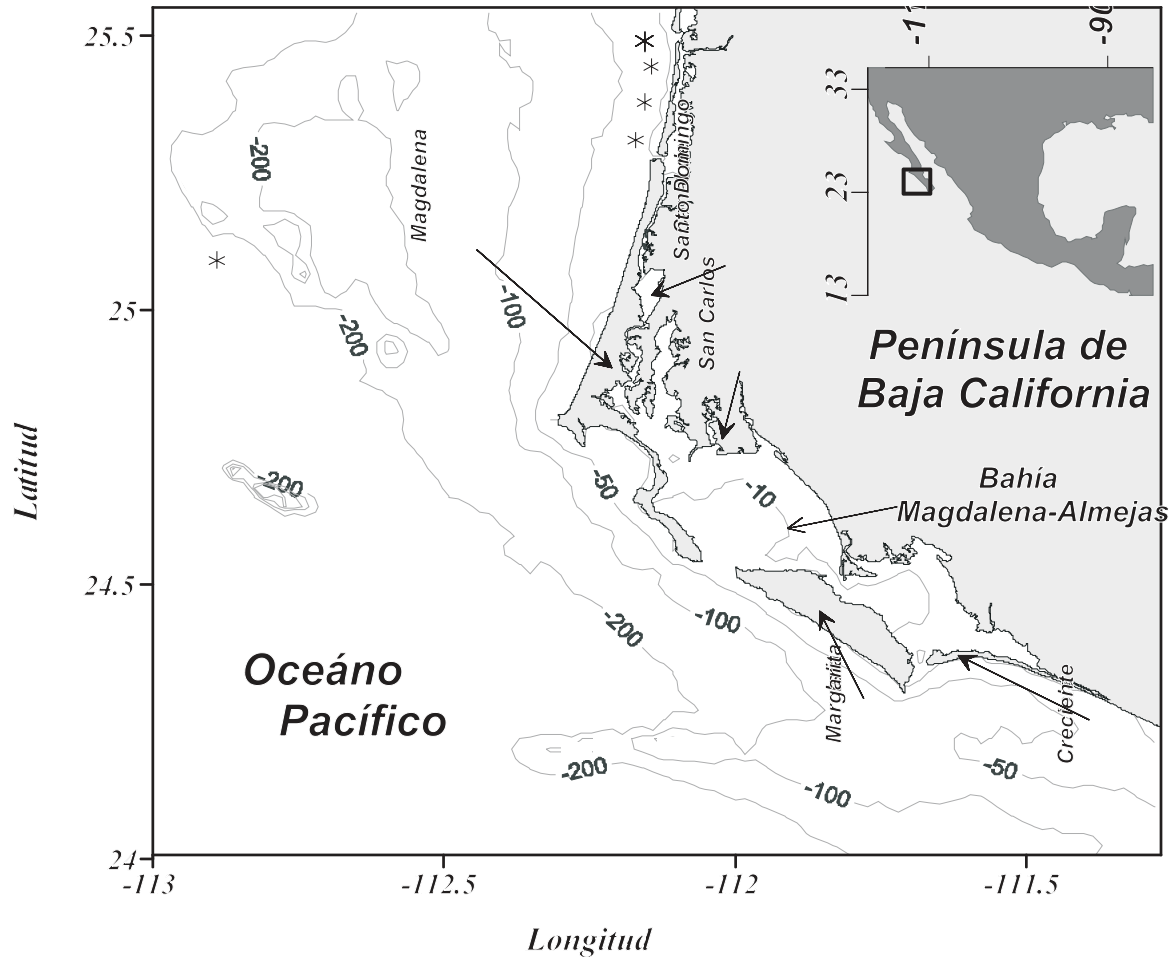
### ***Pesquería de la almeja Catarina y la detección de pulsos de abundancia***

En el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas (en adelante BMA) (Fig. 3), se explotan comercialmente tres especies de moluscos pectínidos: la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*), la almeja voladora (*Euvola vogdesi*) y la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*). De éstas, la almeja catarina es la que más atención ha recibido tanto en términos de investigación como de explotación comercial debido a su abundancia y constancia dentro del sistema.

A pesar de que la extracción comercial de esta especie se remota a la década de los 1950s, no fue sino hasta mediados de los 1970s que los bancos fueron explotados más intensamente debido a su introducción a los mercados nacional y extranjero, principalmente Estados Unidos de América.

Debido a la fuerte explotación, a finales de los 1970s se agotaron los bancos almejeros que se explotaban entonces en la Ensenada de la Paz, y los permisionarios se trasladaron a Bahía Magdalena y San Ignacio, donde permanecieron hasta 1984, cuando por aparente sobreexplotación la zona fue cerrada a la captura comercial.

En el mismo año se abrieron a la pesca los bancos ubicados en Guerrero Negro hasta septiembre de 1985, en que se declaró como sobreexplotada. A partir de la temporada 1986 se restringió substancialmente la actividad extractiva de la especie en el Estado y no fue sino hasta 1988-89 que la actividad se reanudó formalmente (Massó-Rojas 1999), esto se debió a que se detectó la formación de grandes bancos de almeja catarina a lo interno de BMA, fenómeno que coincidió con la presencia de las anomalías térmicas más bajas de la década.



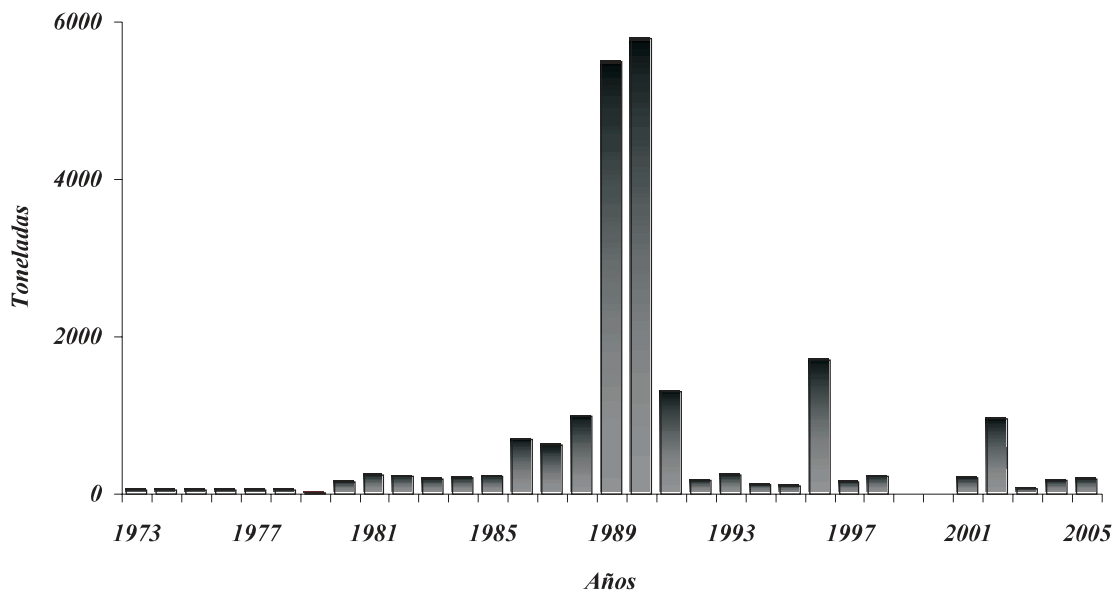
**Figura 3.** Localización geográfica y toponimia del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas (BMA). Se muestra parte de la zona oceánica adyacente y la batimetría. Los asteriscos negros muestran los puntos en los que fueron reportados presencia de almeja catarina sobre la plataforma continental (Maeda-Martínez *et al.* 1993, Leija-Tristán *et al.* 1996).

La producción en esa temporada de pesca se incrementó de 550 t de peso entero (55 t de músculo) reportadas en promedio desde 1973, a poco más de 5500 t (550 t de músculo) en 1989, llegando a representar el 80% de producción total de almejas y caracoles a nivel estatal, el 70% de la producción del litoral del Pacífico y el 30% a nivel nacional. Después de los altos pulsos de producción registrados en el periodo 1989-90, la producción cayó hasta el rededor de 200 t durante varios años, hasta 1996 en que se observó un nuevo repunte de la producción, y posteriormente en el 2002 se observó un pulso moderado (Fig. 4).

En organismos de locomoción limitada se reconoce que existe una variabilidad en el reclutamiento debido a factores tales como la calidad de los desoves, modificación de los substratos de fijación (como es la ausencia o presencia de pastizales), variaciones en las



poblaciones de depredadores, y cambios en el patrón de deriva de las fases planctónicas (Stotz y Mendo 2002).



**Figura 4.** Serie histórica de producción de almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) en Bahía Magdalena, B.C.S., México.

En el caso de poblaciones que forma bancos interconectados, el éxito de reclutamiento depende tanto de condiciones a gran escala (factores climáticos, tamaño del stock desovante), como de las condiciones locales (substrato, depredadores); es decir, el reclutamiento en un banco es afectado tanto por las condiciones del banco receptor, como por las condiciones en bancos remotos y por los procesos que los conectan. El grado, sentido, y variaciones de dicha conexión dependen de la dispersión y supervivencia larvaria y por lo tanto de factores físicos directos como la temperatura y la hidrodinámica presentes en el área. En este sentido, es fácil relacionar la distribución y éxito de las poblaciones a la presencia de estructuras oceanográficas como frentes asociados a plataformas continentales, frentes de marea, presencia de giros o remolinos, topografía marina o línea de costa y demás mecanismos que impliquen retención de larvas (Bakun 1996).

En el caso de la almeja catarina de BMA, Maeda-Martínez *et al.* (1993) plantearon la hipótesis de que la formación de bancos con alta abundancia dentro del complejo lagunar era el resultado del efecto conjunto de transporte pasivo de larvas (deriva larvaria) provenientes de bancos encontrados en la plataforma continental, y de un transporte activo de juveniles adheridos a los apéndices natatorios y cefalotórax de la langostilla pelágica (*Pleuroncodes planipes*). La hipótesis se soporta tanto en el hecho de haber encontrado juveniles de almeja adherida a los apéndices de langostilla, como de una serie de cruceros realizados en 1987,

donde se encontraron evidencias de bancos silvestres de almeja catarina desde Punta Abreojos, hasta los alrededores de Bahía Magdalena entre los 13 y los 180 metros de profundidad, con densidades de 0 a 15 org/m<sup>2</sup> (Leija-Tristan *et al.* 1996, Fig. 3) y en las intrusiones masivas que realiza la langostilla al interior de la bahía durante años anómalamente fríos.

Posteriormente, Maeda-Martínez *et al.* (2000) replantearon el modelo propuesto en 1993, actualizando la información y analizando nuevos eventos de anomalías térmicas registrados en la zona. Se incluyó en esa oportunidad, el argumento de que la temperatura en la zona varía dentro del intervalo tolerable para el desarrollo de la especie (Sicard-González *et al.* 1999) y que dado que la zona costera adyacente es altamente rica en productividad primaria, la nutrición de los organismos estaría garantizada. Se propuso que una vez habiendo desovado la población de la parte oceánica (febrero-abril), las larvas resultantes pudieran generar tres poblaciones distintas, dependiendo de la deriva larvaria que presente, inducida por patrones de circulación generados por viento. Así pues, si la deriva larvaria es baja como al parecer ocurre durante años con anomalías térmicas cálidas, las larvas contribuirán a la auto sustentación de la misma población de la plataforma continental fijándose a rocas, conchas o incluso apéndices natatorios de otros organismos como la langostilla pelágica. La probabilidad de supervivencia de estas larvas es alta debido a las características anteriormente mencionadas y a que presumiblemente hay un índice de depredación muy bajo. Por su parte, en el caso de que algunas de las larvas derivaran hasta el interior del complejo lagunar en BMA, no encontrarían substratos adecuados para su asentamiento y perecerían.

En cambio durante eventos fríos (años La Niña) y vientos fuertes, la cantidad de larvas que deriven hasta el interior del complejo lagunar se incrementaría considerablemente. Además, la probabilidad de supervivencia sería mayor debido a la proliferación de pastos marinos (*Zostera marina*; con una termotolerancia superior de 25° C) (Zimmerman *et al.* 1989). Finalmente los autores consideran que en años extremadamente fríos, la intrusión de langostilla pelágica al complejo lagunar contribuye también al transporte activo de larvas de almeja adheridas a los apéndices natatorios de las langostas, trayendo como consecuencia un incremento en el reclutamiento de almejas en el complejo lagunar (Maeda-Martínez *et al.* 2000).

Existen inconsistencias en el modelo, principalmente derivadas de la falta de relación directa entre la temperatura y los pulsos de producción. Entre 1991 y 1999 se registró un solo evento de producción masiva que fue en 1996, sin embargo, no se vio relacionado directamente con la temperatura en el sentido propuesto por Maeda-Martínez *et al.* (1993), ya que las temperaturas bajas no fueron tan intensas, sino que las condiciones eran más bien cálidas en el contexto de largo plazo, por lo que este pulso fue atribuido al desove masivo de almejas adultas cultivadas en una granja ubicada en Rancho Bueno en 1995 (Maeda-Martínez *et al.* 2000). Por otra parte, el segundo evento frío más intenso de las últimas tres décadas en la zona (1998-99) no se vio reflejado con un pulso de producción, ni siquiera como aquel de 1996, sin embargo, es claro, tanto en los trabajos antes citados como en el presente, que más que un efecto directo de la temperatura, el modelo se basa en la posible relación que existe entre esta variable y los patrones de circulación atmosférica y oceanográfica, y se identifica la falta de información histórica adecuada para incluir estos procesos en el análisis de manera cuantitativa.

## MATERIALES Y METODOS

### *Exploración de hipótesis con modelos numéricos de circulación y deriva*

En trabajos previos (Morales-Zárate 2006, Morales-Zárate *et al.* 2006) se utilizaron técnicas de modelación numérica para explorar las hipótesis sobre los mecanismos que generan los pulsos de abundancia de la almeja catarina en BMA. Para simular el transporte pasivo de las larvas se utilizó el modelo Fundy 6.5.1 (Lynch y Werner 1987, Greenberg *et al.* 1998) para obtener las soluciones de circulación forzadas por viento y marea en la región de BMA y el cuadrante oceánico adyacente. La trayectoria de las partículas se obtuvo utilizando el modelo DROG3D (Blanton 1995), que permitió la simulación de deriva de partículas a partir de campos armónicos de velocidad obtenidos a partir de Fundy (Morales-Zárate *et al.* 2006).

Para evaluar las zonas de retención dentro del complejo lagunar se utilizaron los campos de corrientes generados con Fundy y se sembraron diez mil partículas a una sola profundidad (1 m) en un cuadrante que cubrió la totalidad del complejo BMA. Se registró la ubicación diaria de las partículas (graficadas en pasos de tiempo de cuatro días). Posteriormente, el interior del complejo lagunar se dividió en una cuadrícula de  $0.01^\circ$  por lado y se integró el número de partículas que permaneció dentro de cada cuadrante en cada paso de tiempo. Con la información obtenida se generaron los mapas de retención en la zona.

Para evaluar la posibilidad de que partículas sembradas en la parte oceánica llegaran a entrar y permanecer en el complejo lagunar, se corrieron experimentos de deriva de partículas por periodos de 25 días. Las simulaciones se forzaron con viento periódico, una aproximación barotrópica de la Corriente de California (ABCC), marea ( $M_2$ ), marea residual ( $Z_0$  de  $M_2$ ) y con tres escenarios diferentes de viento: viento débil ( $1.8 \text{ ms}^{-1}$ ), promedio ( $3 \text{ ms}^{-1}$ ) y viento fuerte ( $5 \text{ ms}^{-1}$ ). Se corrieron un total de 54 casos en diferentes cuadrantes de  $0.125^\circ$  de lado que en su conjunto cubrieron el total de la zona oceánica adyacente siguiendo la isolínea de los 200 m, así como parcialmente el interior del complejo lagunar. En cada cuadrante se sembraron 600 partículas en 6 diferentes profundidades (0.5, 5, 10, 15, 20 y 40 m) y se registró la posición final de cada una de ellas al concluir el periodo de simulación.

Una vez que se evaluó la intrusión de partículas dentro del complejo lagunar BMA, se seleccionó el cuadrante que presentó mayor intrusión de partículas sin estar contiguo a la línea de costa, y se realizaron 25 simulaciones más manteniendo constantes los forzamientos utilizados y variando el viento medio tanto en dirección como en intensidad, abarcando una matriz de combinaciones desde viento norte hasta completamente este y con intensidad desde  $0.5$  a  $4 \text{ ms}^{-1}$ . Cuando se tuvieron los resultados se contabilizó la cantidad de partículas que entraron al complejo para cada escenario.

Con los resultados de escenarios de viento y su valor asociado de entrada de partículas de la plataforma al interior del complejo, se identificaron las combinaciones de velocidad y dirección que más favorecen la entrada de partículas, y se reconstruyó una serie de tiempo que reflejó estas condiciones, como la *distancia* ( $D$ ) entre cada valor mensual de viento ( $U_p$ ,  $V_i$ ) y el punto donde se encontró la máxima entrada de partículas ( $U_{max}$ ,  $V_{max}$ ; ecuación 1):

$$D = (U_{max}-U_i)^2 + (V_{max}-V_i)^2 \quad (1)$$

Los valores de distancia de los meses invernales (noviembre a mayo; cuando se presentan las condiciones térmicas adecuadas) se compararon con las series de producción y temperatura.

También se incorporaron al análisis los valores de anomalías térmicas reportada por Sicard-González *et al.* (2006) para Bahía Magdalena.

## RESULTADOS

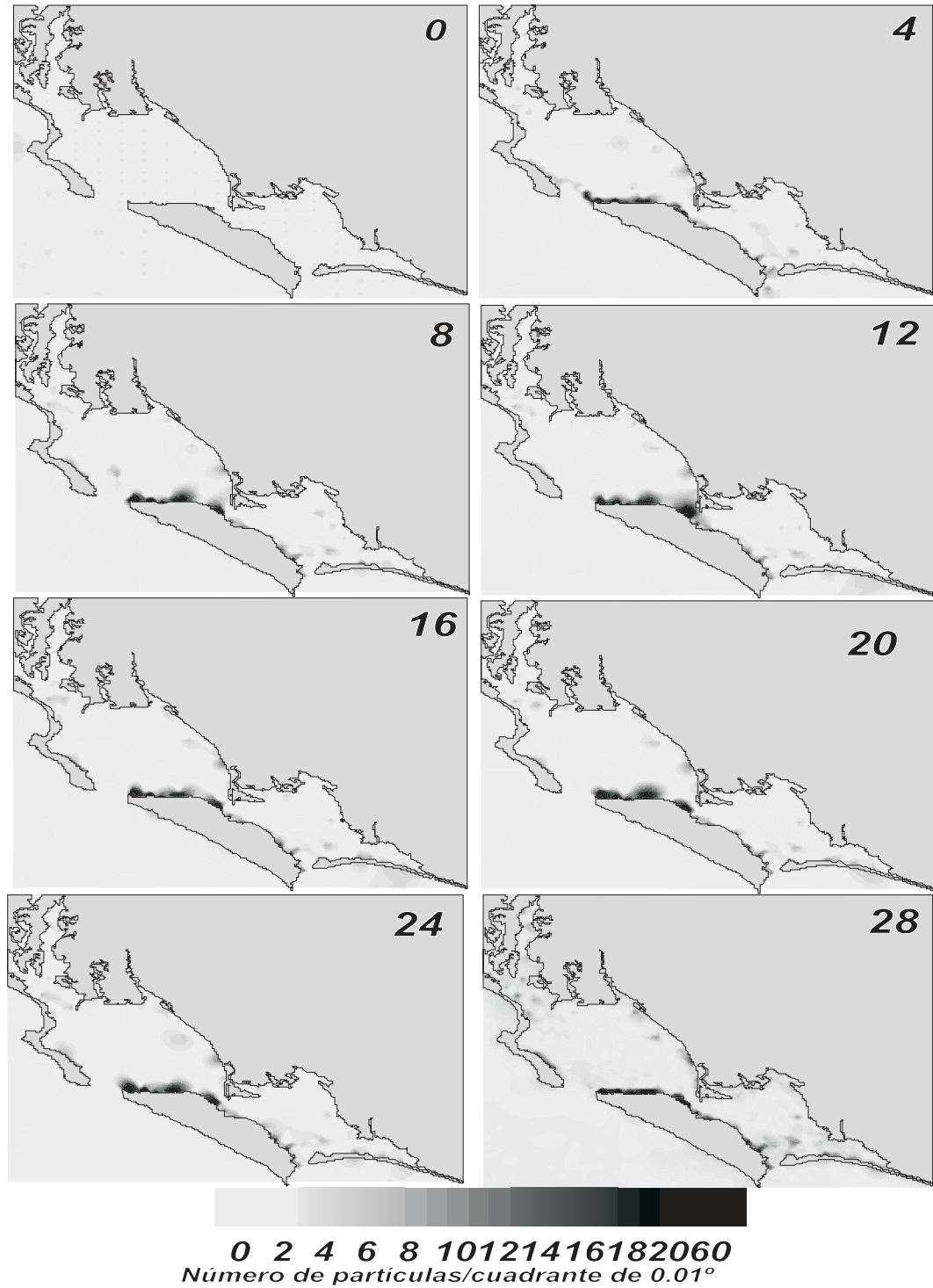
En la figura 5 se muestran los resultados de la caracterización de zonas de retención de partículas dentro del complejo, según el modelo de deriva. Se muestran mapas de concentración de partículas en pasos de tiempo de cuatro días.

Las zonas de mayor concentración incluyen las áreas someras a lo largo de la parte sur de Bahía Almejas, las zonas someras a lo largo de Isla Margarita dentro del complejo lagunar y áreas específicas en la parte norte del complejo.

La acumulación se da en parches, especialmente en las áreas del norte. La concentración máxima se registró en la porción norte de Isla Margarita. Respecto al tiempo, se observó que el mayor movimiento de partículas se presentó durante los primeros seis días, de tal manera que a partir del día siete las partículas permanecieron en el mismo sitio hasta el final del experimento, debido a que las estructuras oceanográficas presentes en el área funcionan como mecanismos de retención.

Los resultados obtenidos con el escenario de viento débil mostraron que el porcentaje de cuadrantes que tuvieron al menos una partícula dentro del complejo fue de 18 %, y el porcentaje de partículas que entraron se mantuvo entre el 0.17 y 1.33%, mientras que en condiciones de viento medio y fuerte, del 36% de los cuadrantes resultó al menos una partícula dentro del complejo lagunar al final del periodo de simulación (25 días), variando el porcentaje de intrusión entre el 0.17 y el 1.83.

A partir de los resultados se evaluó la intrusión de partículas en función de 25 escenarios de intensidad y dirección de viento solamente en el cuadrante que presentó mayor número de partículas entrando al complejo (Tabla I, Fig. 6).

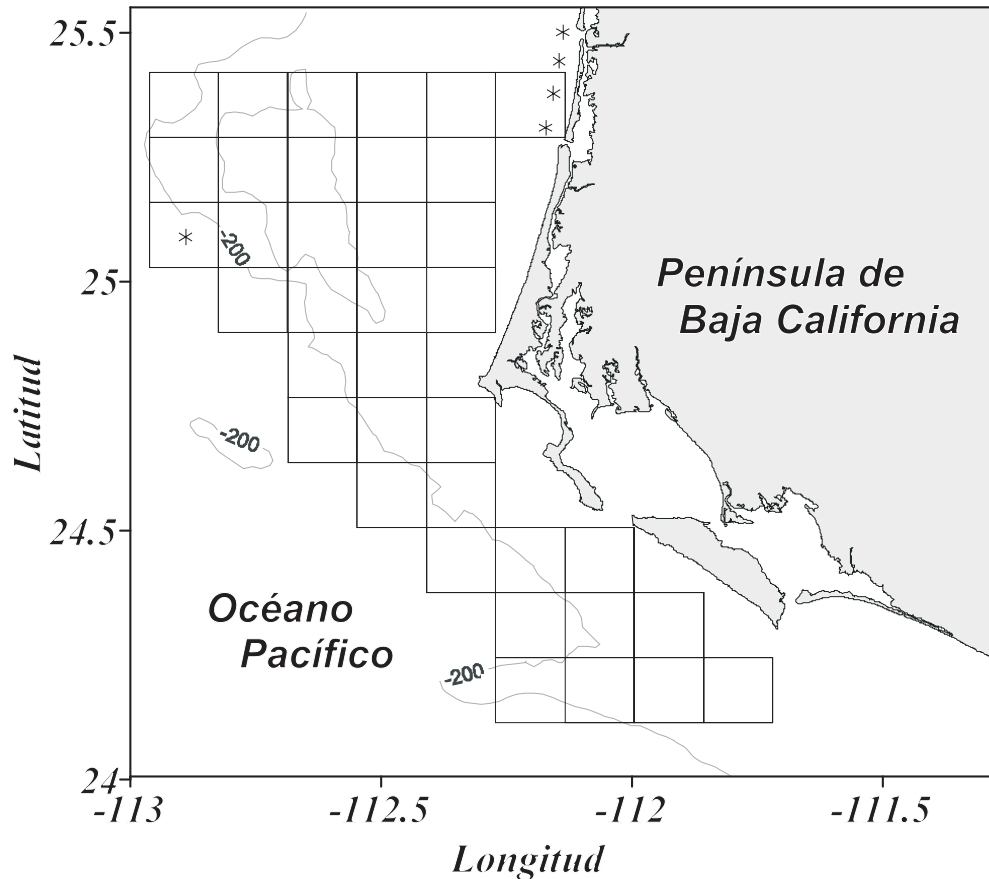


**Figura 5.** Áreas de retención. Concentración de partículas pasivas puestas a derivar en una distribución homogénea a 1 m de profundidad. Los mapas se presentan en intervalos de 4 días.

**Tabla I.** Resultados obtenidos para los escenarios de simulación variando dirección e intensidad de viento. Se muestran los valores de viento, el porcentaje de intrusión y si hubo o no distribución en bancos almejeros. Se resaltan en negritas los escenarios 21-24 porque la posición final de las partículas coincide con la distribución real de los bancos.

Escenario	X (m/s)	Y(m/s)	Intensidad (m/s)	Dirección	% Intrusión	Dist. en bancos
1	0.5	-0.5	0.50	↖	0.00	--
2	0.5	-1	1.12	↙	0.00	--
3	0.5	-2	2.06	↘	0.00	--
4	0.5	-3	3.04	↓	0.00	--
5	0.5	-4	4.03	↓	0.00	--
6	1	-0.5	1.00	↗	0.00	--
7	1	-1	1.41	↘	0.00	--
8	1	-2	2.24	↙	0.00	--
9	1	-3	3.16	↓	0.00	--
10	1	-4	4.12	↓	0.00	--
11	2	-0.5	2.00	↗	1.22	No
12	2	-1	2.24	↘	2.56	No
13	2	-2	2.83	↙	0.56	No
14	2	-3	3.61	↓	0.00	--
15	2	-4	4.47	↓	0.00	--
16	3	-0.5	3.00	→	14.89	No
17	3	-1	3.16	→	15.22	No
18	3	-2	3.61	↘	9.56	No
19	3	-3	4.24	↙	0.11	No
20	3	-4	5.00	↓	0.00	--
<b>21</b>	<b>4</b>	<b>-0.5</b>	<b>4.00</b>	→	<b>14.44</b>	<b>Si</b>
<b>22</b>	<b>4</b>	<b>-1</b>	<b>4.12</b>	→	<b>14.89</b>	<b>Si</b>
<b>23</b>	<b>4</b>	<b>-2</b>	<b>4.47</b>	↘	<b>12.56</b>	<b>Si</b>
<b>24</b>	<b>4</b>	<b>-3</b>	<b>5.00</b>	↙	<b>4.22</b>	<b>Si</b>
25	4	-4	5.66	↓	0.22	No





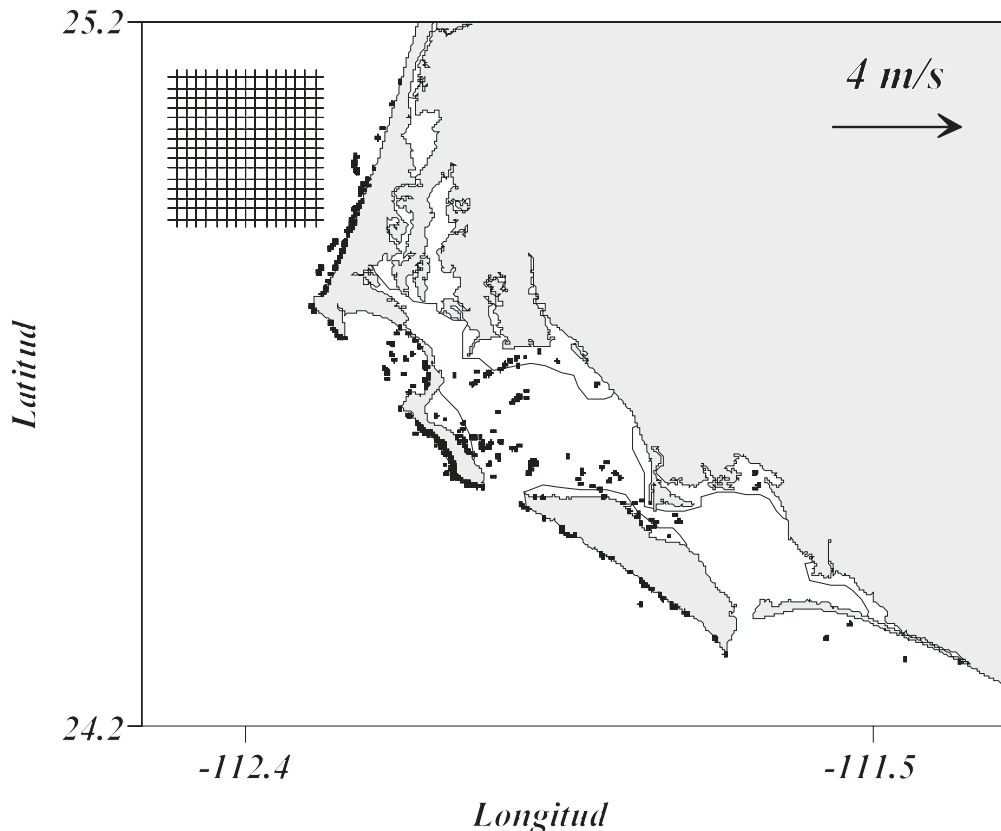
**Figura 6.** Tamaño y ubicación de los cuadrantes sembrados, el cuadrante sombreado indica el cuadrante que mayor intrusión de partículas tuvo. Los asteriscos muestran los puntos en los que fueron reportados presencia de almeja catarina. Se excluyen los cuadrantes que quedaron completa o parcialmente dentro del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas.

De los 25 escenarios simulados, el 48% tuvieron al final de la simulación al menos una partícula dentro del complejo lagunar, con una intrusión de entre el 0.11 y el 15.22% del total de partículas sembradas. De los escenarios con intrusión, en un tercio de los casos, la localización final de las partículas dentro del complejo coincidió con la ubicación de bancos reales de almeja catarina registrados en el complejo BMA, y el tiempo de deriva fue congruente con la duración del periodo planctónico (hasta 25 días).

Según los resultados, la dirección del viento tiene una mayor influencia en la intrusión de partículas al complejo lagunar que la intensidad, aunque existe un valor óptimo de velocidad del viento. En el escenario de  $U = 2 \text{ ms}^{-1}$  y  $V = 0.5$  se alcanzó un porcentaje de intrusión de entre 0.56 y 2.56 %, y las partículas no llegaron a las zonas donde se esperaba el reclutamiento. Para un viento de  $U = 3 \text{ ms}^{-1}$  y  $V = 0.5$  el porcentaje de intrusión se elevó considerablemente a 9.56 y 15.22%, mientras que la combinación de  $U = 3 \text{ ms}^{-1}$ ,  $V = 3 \text{ ms}^{-1}$  presentó un porcentaje de 0.11. Los escenarios correspondientes a los valores de viento en  $U$

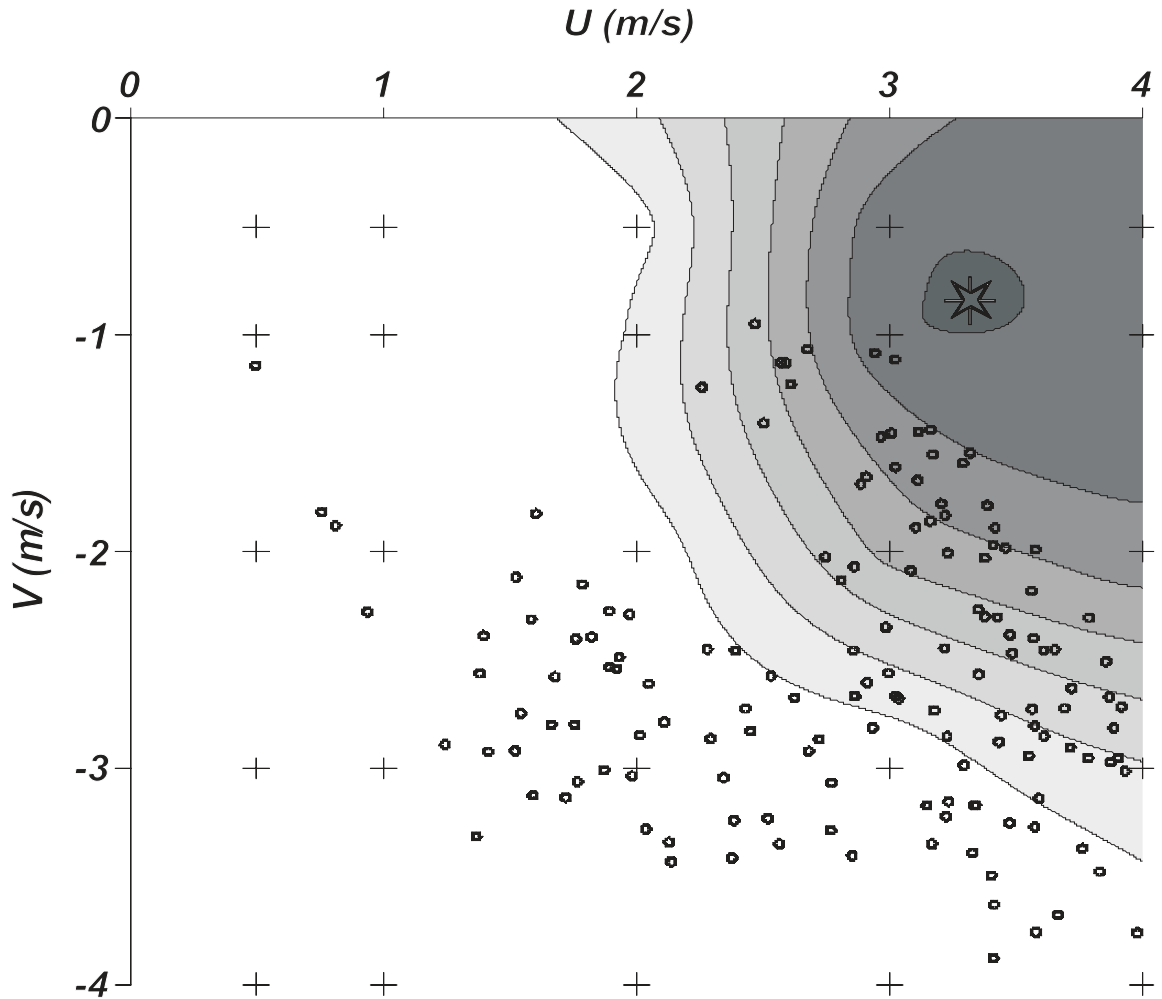
más intenso ( $4 \text{ ms}^{-1}$ ) y  $V$  débil a moderado ( $0.5$  a  $2 \text{ ms}^{-1}$ ) presentaron un porcentaje de intrusión entre el 12.56 y 14.44 %, mientras que para valores de  $U = 4 \text{ ms}^{-1}$  y  $V = 3 \text{ ms}^{-1}$  el porcentaje obtenido fue de 4.22 y para un viento fuerte noroeste ( $U = 4 \text{ ms}^{-1}$  y  $V = 4 \text{ ms}^{-1}$ ) solo entró el 0.22%. Para estos escenarios, con excepción del último, se encontró que la distribución espacial final de las partículas correspondió a zonas consideradas aptas para el reclutamiento de almeja catarina dentro del sistema lagunar BMA (Fig. 7).

En la figura 8 se muestran gráficamente los resultados de las simulaciones de deriva, donde los contornos indican la proporción de partículas que entraron al complejo BMA desde la plataforma continental, y con un asterisco (\*) se indica el contorno de mayor intrusión el cual se obtuvo a un valor óptimo de viento de  $U = 3 \text{ ms}^{-1}$  y  $V = 1 \text{ ms}^{-1}$ .



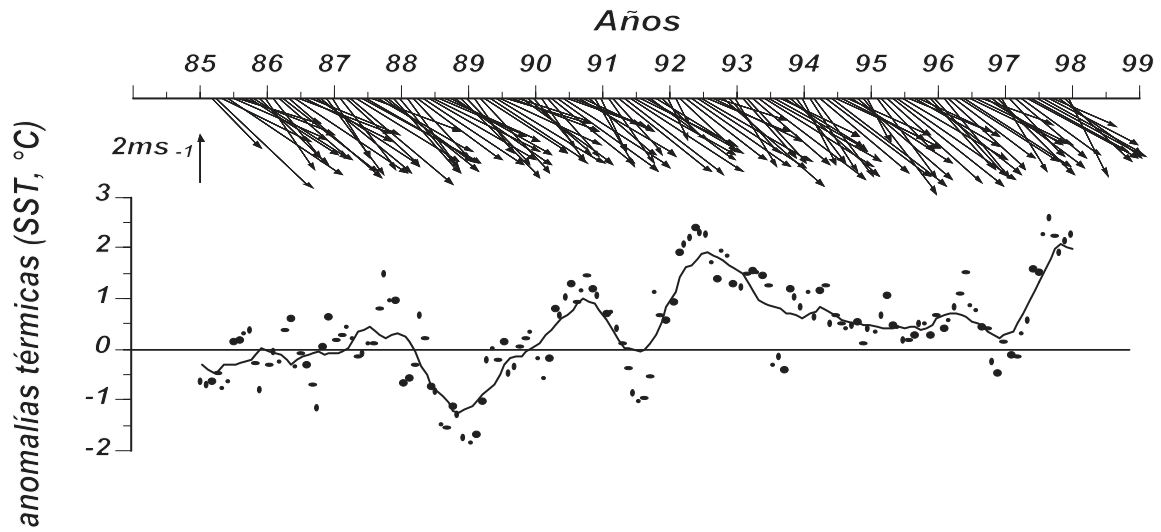
**Figura 7.** Posición final de las partículas puestas a derivar con una intensidad de viento de  $4 \text{ ms}^{-1}$  y dirección oeste. Obsérvese que algunas partículas se ubicaron en las zonas reconocidas como bancos almejeros naturales (áreas sombreadas) dentro del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas

Las cruces los escenarios probados y los círculos muestran los valores de viento observado (Parés-Sierra CICESSE, com. pers.). En esta figura los valores simulados se encuentran dentro del intervalo de valores observados.

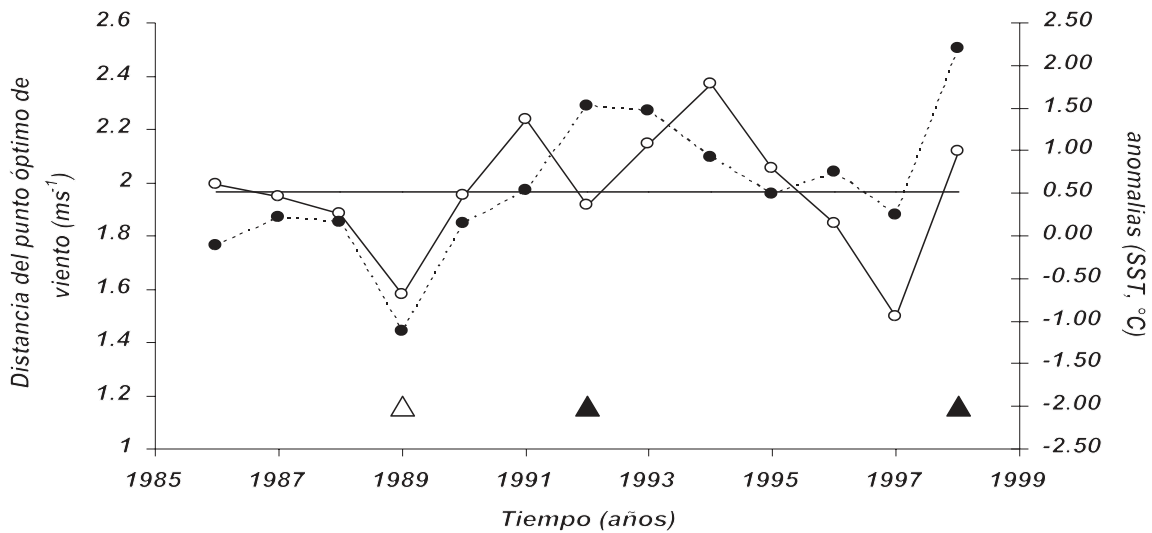


**Figura 8.** Valores de intensidad y dirección de viento óptimo para la intrusión de partículas al complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas. Los contornos marcan la proporción de partículas importadas al complejo desde la plataforma continental según la Tabla 2. Los círculos muestran los valores de viento observados durante invierno y las cruces los escenarios simulados.

A partir de la distancia entre cada valor de viento observado (Fig. 9) y valor el óptimo simulado, se generó una serie de tiempo de distancia al óptimo; es decir, la distancia entre cada valor de viento mensual y el valor modelado que resulta en una mayor cantidad de partículas entrando al complejo a partir de la plataforma. La figura 10 muestra la serie de tiempo de las “distancias” (considerando únicamente la mitad invernal del año) y se compara con la serie de anomalías térmicas registradas en el área para el mismo periodo.



**Figura 9.** Dirección e intensidad del viento (panel superior) y anomalías térmicas registradas en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas.



**Figura 10.** Serie de tiempo generada con las distancias entre puntos de viento observados respecto al óptimo calculado (solamente invierno; línea continua con puntos blancos) comparada con la serie de anomalías térmicas en la zona (línea discontinua con puntos negros). Se señalan los casos en los que la distancia al punto óptimo es mínima. Los triángulos negros indican eventos cálidos (1992 y 1998), y el triángulo blanco indica un evento frío (1989).

En la serie se encontraron tres casos en los que los valores de viento son altamente favorables para promover la intrusión de partículas al complejo BMA: El primero que coincide con las anomalías térmicas más frías registradas en el periodo (1988-1989 señalado con un triángulo blanco), y dos que coinciden con eventos cálidos (1992-1993 y 1997-1998, señalados con triángulos negros).

## DISCUSIÓN

La almeja catarina es un recurso pesquero importante en la región, tanto por el alto valor económico que puede alcanzar como por ser un recurso tradicional, explotado desde hace ya muchas décadas en el estado de Baja California Sur.

En la región prevalecen condiciones térmicas adecuadas para el desarrollo de almeja catarina a lo largo del año (Morales-Zárate 2006), de acuerdo a la comparación de valores observados en campo con aquellos de temperatura preferencial estimada en laboratorio de Sicard-González *et al.* 1999), salvo durante años ENSO.

Los resultados de Morales-Zárate *et al.* (2006) soportan la hipótesis de que parte del reclutamiento puede venir de fuentes externas al complejo lagunar, toda vez que los otros mecanismos explorados (deriva interna y la influencia directa de la temperatura) no alcanzaron a explicar los pulsos de producción. Mas aún, los resultados obtenidos de las corridas de diversos cuadrantes situados a lo largo de la isolínea de 200 m sobre la plataforma continental, indican que los cuadrantes donde podrían existir bancos de esta especie son aquellos desde los cuales podría exportarse juveniles al interior del complejo lagunar BMA. Por otro lado, los valores de viento que pueden generar intrusión, aunque se presentan poco frecuentes (tal como pasa con los pulsos) se encuentran dentro de los intervalos posibles según los datos observados en la región. Al comparar los resultados de las 25 corridas variando viento con los registros históricos, se encontró que únicamente durante cuatro inviernos, en un periodo de 12 años se presentan condiciones adecuadas de viento, mientras solamente se presentaron dos pulsos de producción en el mismo periodo. Para ilustrar lo anterior, en la figura 10 se muestra la serie de tiempo de condiciones de viento invernal para la zona, en donde se muestran cuatro casos en los que los valores de viento fueron altamente favorables para promover la intrusión de larvas y/o juveniles de almeja al complejo BMA. De estos cuatro casos, se aprecia concordancia con los dos mayores pulsos de producción registrados en la serie de capturas de almeja en Bahía Magdalena (1989-1990 y 1995-1996), pero no para los años 1992-1993 y 1997-1998, en los que se esperaría encontrar altos pulsos de producción dados los valores de viento. En la serie de anomalías térmicas de la figura 10 se muestra que para los años 1989-1990 y 1995-1996 las temperaturas dentro del complejo se encontraron dentro del intervalo óptimo para el desarrollo de la almeja catarina, mientras que en los años 1992-1993 y 1997-1998 la temperatura se elevó considerablemente, debido al fenómeno ENSO. A pesar de existir la presencia de vientos favorables para la intrusión de larvas/juveniles de almeja al complejo BMA, los bancos no se desarrollaron porque la temperatura pudo afectar la producción de gametos en las poblaciones de adultos (Luna-González 1997), la supervivencia de las larvas (Sicard-González, *et al.* 2006, Sicard-González *et al.* 1999) pudo disminuir la cantidad de alimento debido a la baja productividad primaria asociada a eventos ENSO (Martínez-López

y Verdugo-Díaz 2000, Gárate-Lizárraga y Sequeiros 1998) o bien pudo limitar el desarrollo de praderas de pastizales que brindan substrato de fijación a las larvas (Zimmerman *et al.* 1989) y protección a los juveniles y adultos resultantes (Maeda-Martínez *et al.* 1992).

Recientemente se ha observado un nuevo pulso, aunque moderado, en las capturas de BMA. Este pulso de 2006-2007, no se corresponde, según observaciones preliminares no publicadas, con valores de viento como aquellos que se identificaron para los pulsos anteriores en los trabajos anteriormente citados, indicando que la intrusión no es el único mecanismo que puede explicar pulsos de producción, o bien que existen mecanismos de intrusión que no pudieron identificarse mediante los experimentos de modelación realizados hasta el momento. A la fecha de publicación de la presente obra, se están explorando los posibles orígenes de los nuevos individuos que resultaron de este aumento de abundancia mediante técnicas genéticas, para intentar documentar si se trata de individuos que provienen del interior o del exterior de la laguna.

## REFERENCIAS

- Alamo, V. y V. Valdivieso. 1987. Lista sistemática de moluscos marinos del Perú. Boletín Inst. Mar Perú. Vol. Extraordinario. 205 p.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean. Ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant/CIB. 323 p.
- Blanton, B.O. 1995. 3-Dimensional drogue tracking algorithm for a finite element grid with linear finite elements in spherical coordinates. Technical report., Marine Sciences. University of North Carolina, Chapel Hill, USA. 86 p.
- Cruz, P., C. Rodríguez Jaramillo y A.M. Ibarra. 2000. Environment and Population origin effects on first sexual maturity of catarina scallop *Argopecten ventricosus* (Sowerby II, 1842). J. Shellfish Res. 19(1):89-93.
- FAO, 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-oriental. Vol. I. Invertebrados. 647 p.
- Garate Lizarraga, I. y D.A. Siqueiros Beltrones. 1998. Time variation of phytoplankton Assamblages in a subtropical lagoon system after the 1982-83 El Niño event. Pacific Science 52(1): 79-97.
- Greenberg, D.A., F.E. Werner y D.R. Lynch. 1998. A diagnostic finite element ocean circulation model in spherical-polar coordinates. J. Atmos. Oceanic. Technol. 15:942-958.
- Leija Tristán, A., F.A. Solis Marin, D. Auriolles Gamboa y E.S. Amador Silva. 1996. Natural stocks of the scallop *Argopecten circularis*, and relationships with the glateid crab *Pleuroncodes planipes* in the Pacific coast of Baja California Sur, México. Cah. Biol. Mar. 37:153-157.
- Luna González, A. 1997. Ciclo reproductivo de la almeja catarina *Argopecten ventricosus* (Sowerby II 1842) cultivada en la rada del puerto de Pichilingue, B.C.S., y su relación con el medio. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur,



México. 74 p.

- Lynch, D.R. y F.E. Werner. 1987. Three-dimensional hydrodynamics on finite elements: I. Linearized harmonic model. *Int. J. Numer. Methods Fluids*. 7:871-909.
- Maeda-Martínez A.N., P. Ormart, V. Polo, T. Reynoso, P. Monsalvo, S. Avila y M. Espinoza. 1992. The potential predator impact on bottom cultured mexican catarina scallop (*Argopecten circularis*). pp. 151-152 *In: Book of abstracts. Aquaculture '92*. Orlando, Florida. Mayo 21-25.
- Maeda-Martínez, A.N., T. Reynoso-Granados, F. Solis-Marin, A. Leija-Tristan, D. Aureoles Gamboa, C. Salinas-Zavala, D. Lluch-Cota y P. Ormart-Castro. 1993. A model to explain the formation of catarina scallop *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835), beds, in Magdalena Bay, Mexico. *Aquaculture Fisheries Management* 24: 323-339 p.
- Maeda-Martínez, A.N., M.T. Sicard-González, L. Carvalho, S.E. Lluch-Cota y D.B. Lluch Cota. 2000. Las poblaciones de almeja catarina *Argopecten ventricosus* en el Centro de Actividad Biológica de Bahía Magdalena, México. *In: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Diaz. (Eds.). BAC Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 367 p.*
- Martínez-López, A., y G. Verdugo-Díaz. 2000. Composición y dinámica del fitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena. *In: Lluch-Belda, D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Diaz. (Eds.). BAC Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 367 p.*
- Massó-Rojas, J. A. 1999. Pesquería de almeja catarina. *In: Casas-Valdez, M. y G. Ponce-Díaz. Estudio del Potencial pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Vol. I. Secretaría del Medio Ambiente Recursos naturales y Pesca. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras y Centro de Estudios Tecnológicos del Mar. 350 p.*
- Mazón-Suástegui, J.M. 1999. Cultivo de almeja catarina *Argopecten circularis*. *In: Casas-Valdez, M. y G. Ponce-Díaz (Eds). Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de B. C. S. Vol. II. Secretaría del Medio Ambiente Recursos naturales y Pesca. Gobierno del Estado de Baja California Sur. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras y Centro de Estudios Tecnológicos del Mar. México. 544 p.*
- Morales-Zárata, M.V. 2006. Patrones de reclutamiento y deriva larvaria de la almeja Catarina (*Argopecten ventricosus*) en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S., México. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 185 p.

- Morales-Zárate, M.V. A. L. Aretxabaleta, F. E. Werner y S. E. Lluch-Cota. 2006. Modelación de la circulación invernal y la retención de partículas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas (Baja California Sur México). *Ciencias marinas* 32(4):1-17.
- Sicard-González, M.T., A.N. Maeda-Martínez, S.E. Lluch-Cota, C. Lodeiros, L.M. Roldán-Carrillo y R. Mendoza-Alfaro. 2006. Frequent monitoring of temperature: an essential requirement for site selection in bivalve aquaculture in tropical-temperate transition zones. *Aquac. Res.* 37: 1040-1049.
- Sicard-González, M.T., A.N. Maeda-Martínez., T. Reynoso-Granados, P. Ormart-Castro y L. Carvalho-Saucedo. 1999. Optimum temperature for growth in the catarina scallop (*Argopecten ventricosus*, Sowerby II, 1842). *J. Shellfish Res.* 18:383- 390.
- Spencer, P.D. y J.S. Collie. 1997. Patterns of population variability in marine fish stocks. *Fish. Oceanogr.* 63:188-204.
- Stotz, W. y J. Mendo. 2002. Pesquerías, repoblamiento y manejo de bancos naturales: Su interacción con la acuicultura. *In: A.N. Maeda Martínez. (Ed.) Los Moluscos Pectínidos de Iberoamerica: Ciencia y acuicultura. Capítulo 18. Limusa. México. 501 p.*
- Trip Quezada, A. 1985. Explotación y cultivo de la almeja catarina *Argopecten circularis* en Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. 164 p.
- Uriarte, I. G. Rupp y A. Abarca. 2002. Producción de juveniles de pectínidos iberoamericanos bajo condiciones controladas. pp.147-172 *In: Maeda-Martínez, A.N. (Ed.) Los Moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. Limusa, México. Capítulo 8.*
- Zimmerman, R.C., R.D. Smith y R.S. Alberte. 1989. Thermal acclimation and whole plant carbon balance in *Zostera marina* L. (eelgrass). *J. Exp. Mar.Biol. Ecol.* 130: 93-109.

# **INFLUENCIA DE LOS PROCESOS COSTEROS SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LA MEDUSA BOLA DE CAÑÓN *Stomolophus meleagris* (AGASSIZ, 1860) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA.**

*María Sara Burrola Sánchez, Juana López Martínez, Gustavo Padilla Arredondo, David Urias Laborín y Jesús Padilla Serrato.*

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Unidad Guaymas. Apartado Postal 349, Guaymas, Sonora 85465, México

e-mail: sburrola04@cibnor.mx

## **RESUMEN**

En el Golfo de California, las actividades pesqueras se caracterizan por estar dirigidas a pocas especies que tradicionalmente han sido explotadas y que cuentan con toda una infraestructura de transformación para dar valor agregado al producto, además de un mercado ya consolidado (camarón, sardina, calamar). La medusa bola de cañón del género *Stomolophus meleagris* es una especie que abunda en el litoral del Pacífico mexicano y a partir del año 2001 inicia la pesquería de fomento del recurso con principal destino hacia el mercado oriental. En las costas de Sonora el patrón de distribución fue desde el estero Agiabampo hasta Bahía Kino. En general, la medusa tiene dos ciclos de vida distintivos, la fase de pólipo y la fase pelágica en estadio de efira, plánula y medusa. Durante la fase pelágica la medusa se encontró en la zona litoral, con una distribución altamente dependiente del patrón de corrientes, con mayor concentración en la Bahía Las Guásimas, donde el balance hidráulico entre la laguna y el mar adyacente fueron importantes en su área de distribución. Queda por confirmar si la fase pólipo presenta su fijación en el interior de los cuerpos lagunares costeros fijados al sustrato bentónico ó si son acarreados por corrientes desde aguas profundas. El presente estudio de la circulación costera (con énfasis en la distribución), fue dirigido a la zona de boca y frente costero de bahía Las Guásimas (parte central), siendo altamente deseable extender su cobertura a áreas de mayor profundidad.

## **INTRODUCCIÓN**

En el Golfo de California, las actividades pesqueras se caracterizan por estar dirigidas a pocas especies que tradicionalmente han sido explotadas y que cuentan con toda una infraestructura de transformación para dar valor agregado al producto, además de un mercado ya consolidado (camarón, sardina, calamar). Las capturas de estos recursos han mostrado que los niveles de extracción están llegando a niveles límites. Lo anterior ha hecho que la exploración y ubicación de recursos pesqueros con potencial sea cada vez más necesaria, con la finalidad de ofrecer alternativas para una diversificación bien dirigida de las actividades pesqueras. Además de las especies que tradicionalmente han sido explotadas, el litoral del Pacífico mexicano cuenta con una alta riqueza de especies de crustáceos, moluscos y peces, algunos de ellos considerados como recursos pesqueros de gran potencial y que por su escaso conocimiento, no han sido plenamente aprovechados, constituyendo fuentes alternativas de proteínas para una población humana cada vez más demandante de alimento, tales como la langostilla, camarón roca y las medusas.

Las medusas han sido pescadas en Asia desde hace 1000 años (Omari y Nakamo 2001, Kylie y Kingsford 2003). China y otros países asiáticos ya se deleitaban con platillos elaborados a partir de este organismo. China fue el primer país en utilizar medusa para consumo humano y muy pronto se le unieron otros países asiáticos (Shulman 1995). La medusa seca es considerada una delicia en muchas ciudades asiáticas. Son igualmente cotizadas por poseer propiedades medicas y son usadas tradicionalmente para tratar enfermedades como la artritis e hipertensión (Hsieh *et al.* 2001). Desde los 1970s las capturas se han incrementado en forma exponencial, desarrollándose grandes pesquerías comerciales cuyas capturas se han incrementado en forma exponencial y en los años de 1997 a 2006 las capturas anuales mundiales rebasaron las 500,000 toneladas.

Las medusas pertenecen al grupo de los cnidarios o celentéreos, que son un grupo de animales de simetría radial, diblásticos, es decir, que poseen solamente dos capas embrionarias (endodermo y ectodermo). Ecológicamente, poseen una importancia destacada. Se trata de los animales macroscópicos más abundantes en los mares tropicales y subtropicales. Algunos de los grupos que los integran forman en estas regiones extensos atolones y arrecifes de coral. Evolutivamente, han sido los precursores de los actuales metazoos, constituyendo el grupo de animales vivos más primitivos. A pesar de que algunos tienen tamaños grandes (algunos metros), las medusas no tienen cabeza, ni esqueleto, ni ningún órgano especial para la reproducción y la excreción.

Existen cuatro grupos de cnidarios: Cubozoa (cubomedusas), Scyphozoa (medusas verdaderas), Hydrozoa (hidras) y Anthozoa (corales), que en conjunto integran el phylum Cnidaria. Específicamente, los escifozoos o medusas verdaderas son una clase de cnidarios que se distribuye en todos los mares del mundo y a diversas profundidades (Omari y Nakano 2001), realizando migraciones verticales en respuesta al ritmo circadiano, dependiente de la luz (Mills 1982).

Por la naturaleza de su ciclo de vida, las medusas vienen y se van estacionalmente, presentando sus abundancias máximas (blooms) durante la primavera o el verano, cuando el alimento planctónico es mas abundante (Mills 2001). Además de los cambios estacionales debidos a variaciones cíclicas en número, varios otros tipos de eventos parecen haber incrementado el número de medusas en los últimos tiempos en algunos ecosistemas. Dentro de ellos, se ha planteado la expansión de la influencia (impactos) del hombre en los océanos, tales son los casos de *Chrysaora melanaster* en el Mar de Bering (Brodeur 1999), *Chrysaora hysoscella* en la Corriente de Benguela, algunas scyphomedusas en el norte del Golfo de México, entre otros (Mills 2001). Igualmente existen especies de medusas que fluctúan regularmente, aparentemente en respuesta al clima, causando blooms periódicos, tales como *Pelagia noctiluca* en el Mar Mediterráneo (ciclos de 12 años), *Stomolophus nomurai* (20-40 años) en el Mar de Japón y se han presentados incrementos recientes en especies no indígenas, invasivas tales como *Rhopilema nomadica* en el Mar Mediterráneo Este, *Mnemiopsis leidyi* en el Mar Negro y *Phyllorhiza punctata* en el Golfo de México. Blooms de *Aurelia aurita* se han presentado a nivel mundial.

Aún cuando algunas especies de medusas viven solitarias, otras como *Aurelia aurita*, pueden viajar miles de kilómetros en concentraciones formando franjas que abarcan decenas de kilómetros. Aunque este tipo de medusas deriva con la corriente y con las olas, también pueden nadar vertical y horizontalmente: su mecanismo de pulsos de campana aumenta la

fuerza del chorro de agua que es expulsado de la cavidad subumbrelar (Costello y Colin 1995).

Las medusas de género *Stomolophus spp* abundan tanto en las costas del norte del Atlántico y Golfo de México y en el Océano Pacífico (Gómez-Aguirre 1991). En el Pacífico, el género *Stomolophus meleagris* puede ser encontrado desde la parte norte de Sonora, en la región del Alto Golfo, hasta el Ecuador, en Sudamérica (Ocaña-Luna y Gómez-Aguirre 1999). Si bien es más tropical, su distribución incluye áreas subtropicales y templadas y se sugiere que pudo haber sido empujado hacia el Norte por las condiciones generadas por eventos climáticos como “El Niño”, como se ha demostrado para otras especies, y potenciar su capacidad de reproducción con su habilidad para colonizar nuevas áreas (Gómez-Aguirre 1991). Tal adaptabilidad aunada a su conocida voracidad, representa un riesgo para especies comerciales. Diversos trabajos destacan el papel de esta especie como depredador importante del plancton (Huang *et al.* 1988, Larson 1991, Costello y Colin 1995, Purcell y Arai 2001).

En México se inició la pesca de la medusa en 2001 con permisos de pesca de fomento (mismo estatus en el que se encuentra actualmente) primero en el estado de Sinaloa, y posteriormente en los estados de Tamaulipas, Tabasco y Oaxaca (Álvarez-Tello *et al.* 2003). En el Estado de Sonora, la investigación sobre la explotación de este recurso inicia de manera incipiente en el año de 2001 a través de Permisos de Pesca de Fomento en Bahía de Lobos y Laguna Las Guásimas. Durante 2004, al amparo del permiso de Pesca de Fomento No. 18120303-613-03 otorgado a la Pesquera México por las autoridades de CONAPESCA, se inició de manera formal la investigación biológica y pesquera del recurso, misma que incluyó estimados de abundancia, crecimiento, mortalidad y reclutamiento, así como la potencial relación ambiente-recurso y búsqueda de áreas de asentamiento de los pólipos. De los múltiples resultados que se han obtenido de esta investigación, se ha documentado una alta variabilidad en su periodo de aparición, aparentemente en respuesta a condiciones ambientales, ubicándose una relación entre temperatura del agua con el inicio de la estrobilación de los pólipos (fase sesil de la especie) y aparición por lo tanto de los juveniles de medusa, además de una relación de la desaparición de las medusas del área o cambios en su constitución con el inicio de las lluvias de verano (López-Martínez *et al.* 2007).

Desde el inicio de la investigación, se inició la búsqueda del estadio de pólipo de la medusa bola de cañón, debido a que, además de formar parte del ciclo de la misma, es la fase más longeva de la especie (años), a diferencia de la fase medusa (meses). Así, durante el 2004-2005 se orientaron esfuerzos a su búsqueda en sedimentos en la Laguna Costera Las Guásimas (Fig. 1), llevando a cabo muestreos de transectos en línea de colecta de sedimentos con draga y nucleadores y se combino información de ubicación de estadios planctónicos, medición de corrientes, oleaje y transporte litoral para simular las corrientes y determinar áreas potenciales de liberación de las éfiras. En este trabajo se presentan los resultados de la parte física de dichos ensayos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para el desarrollo del experimento de búsqueda de pólipos, se selecciono a la Laguna costera Las Guásimas, por ser el área donde recurrentemente se presentan medusas, tanto en fase larvaria como en forma adulta.

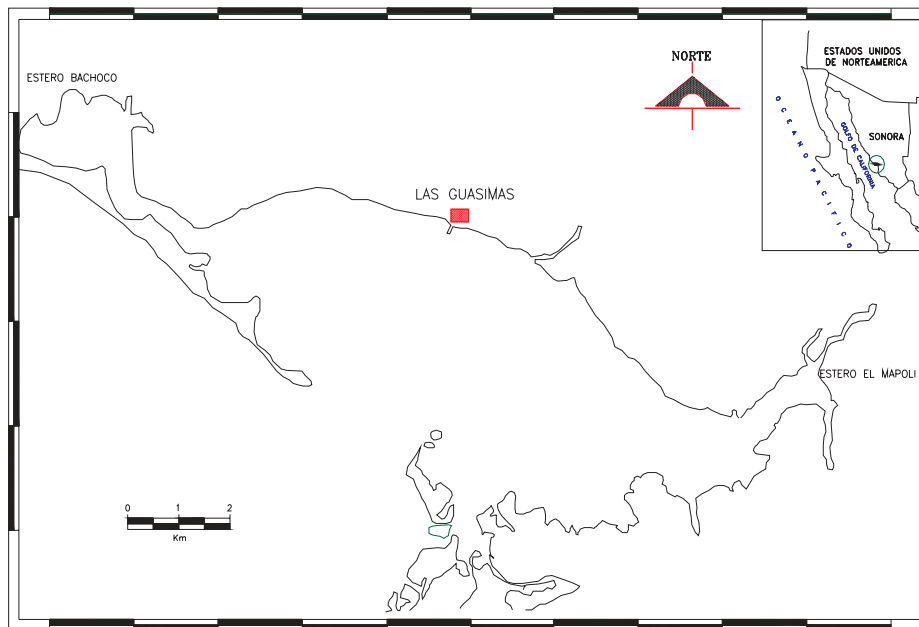


Figura 1. Plano de localización de la laguna costera Las Guásimas, Sonora.

El experimento consistió en tres fases: 1) búsqueda de pólipos en fondo mediante colecta de sedimentos, 2) colectas de plancton para ubicar sitios donde se presentan estadios larvarios de medusas, 3) caracterización del transporte litoral y la batimetría para, combinado con los datos de plancton, llevar a cabo simulaciones para ubicar sitios potenciales de asentamientos de pólipos.

La laguna costera Las Guásimas es uno de los cuerpos de agua más importantes del Sur de Sonora por su extensión y papel socioeconómico dentro de la Etnia Yaqui, ya que sostiene a la segunda población ribereña más importante de la Comunidad. Se localiza a 60 km al sur de Guaymas, Sonora, entre los  $27^{\circ}50' N$  y  $110^{\circ}35' W$ , (Fig. 1). Esta laguna es una depresión costera con estado avanzado de azolve, protegido por una barra arenosa orientada al NW-SE y se comunica al mar por una boca de 2 km de ancho. El área lagunar tiene una superficie de 3900 hectáreas y profundidad media de 1.5 m.

La zona litoral desde el estero Bachoco hasta el estero Mapoli está bordeada por un suelo de textura media, con alto contenido en sales, relativamente compactado y de estructura



prismática. La erosión de los cerros aislados de la zona son la fuente de los litosoles y regosoles, los cuales presentan una distribución en parches aislados bien definidos.

### *Sedimentos*

El estadio de pólipo de la medusa requiere de un sustrato duro para su fijación y considerando que la talla del organismo en este estadio es de milímetros, los sedimentos homogéneos con diámetro promedio de 1mm (arenas finas) y menores son poco probables para fijación. En áreas donde la granulometría es mayor de 1 mm las condiciones de energía de la corriente son también mayores e impedirían la sedimentación del organismo que se fijará como pólipo. Mediante una extrapolación al diagrama de Shields una corriente de 2 cm/seg pondría en movimiento a partículas de 1 mm. En un nicho sedimentario donde el tamaño de grano es heterogéneo, (sitios donde existe resuspensión, sitios en proceso de erosión que descubre fragmentos de roca o conchas de mayor tamaño de grano; sitios donde existen variaciones fuertes de la energía que favorece el depósito, parecen ser los lugares indicados.

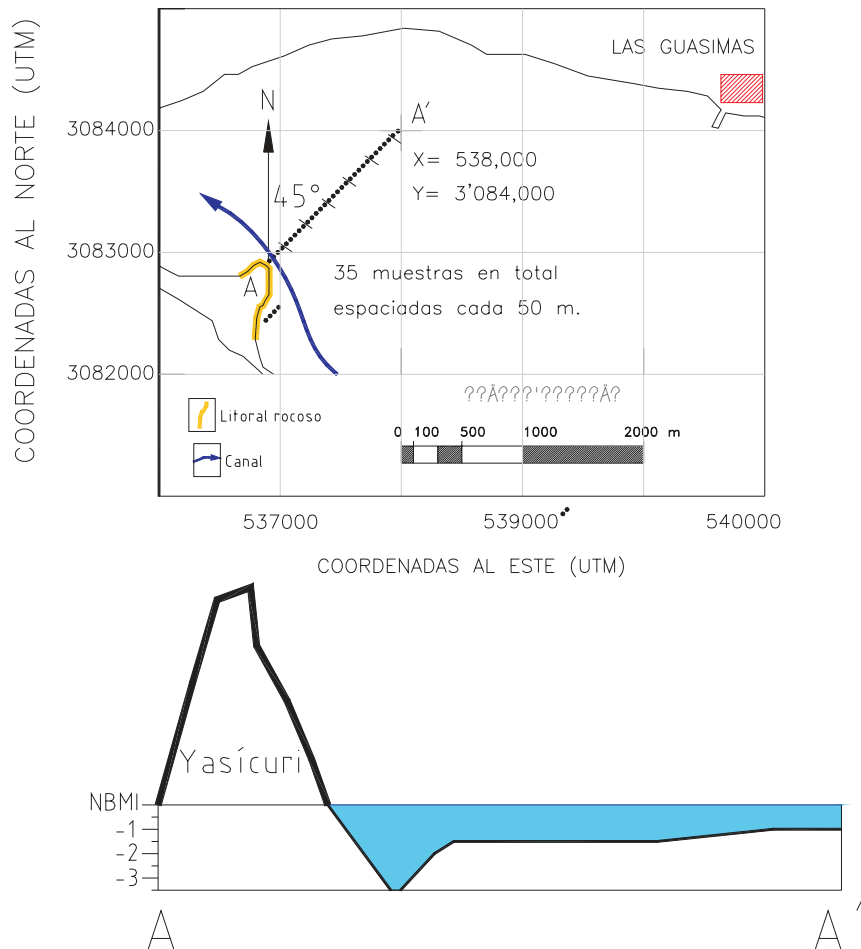
Por lo anterior, durante el mes de octubre de 2005 se efectuó un muestreo exhaustivo con draga por transecto que incluyo diferentes hábitat, donde se colecto solo el sedimento superficial de medio centímetro de espesor. Este transecto cruzo áreas de canal y sustratos rocosos mixtos. Además se incluyo un muestreo en una zona de vórtice de corrientes donde se acumulan macroalgas, las cuales incluyen también un sustrato probable para la fijación de pólipos (Fig. 2). El objetivo fue que si la muestra es positiva, se asociara con el análisis granulométrico correspondiente para caracterizar el tipo de sustrato donde se fija el pólipo.

Las muestras se colectaron con una draga manual llamada Petite poner a bordo de una embarcación menor a distancias aproximadas de 50 m y se registraron sus datos de referencia a lances, con un GPS. La primera estación se ubico entre Punta Arena y el cerro Yasicuri (cuatro estaciones). Se continuó desde el Yasicuri (Fig. 1) hasta el canal de llamada de la Granja camaronera Cruz de Piedra (19 estaciones) y una última se colecto de la zona rocosa al pie del Yasicuri. Las muestras se preservaron con formol al 3% en bolsas ziploc. Cabe mencionar que solo se colecto la parte superficial del fondo.

### *Plancton*

Con el objeto de colectar ejemplares de aguamala en fase larvaria, en cada sitio prospectado se realizaron arrastres horizontales de plancton mediante red de plancton de 335  $\mu$  y boca de 30 cm y 1 m de longitud con una duración de 10 minutos, arrastrada con un panga con motor fuera de borda, a una velocidad de 2 nudos. Las muestras fueron fijadas en formol al 4%, neutralizado con solución saturada de borato de sodio. La posición geográfica de cada arrastre se obtuvo con un geoposicionador.

En el laboratorio de Especialidades de Pesquerías se fraccionaron las muestras y con ayuda de un microscopio estereoscópico y uno óptico se cuantifico el número de larvas éfiras y plánulas presentes en las muestras.



**Figura 2.** Localización del transecto para la colecta de sedimentos en Las Guásimas, Sonora.

### *Batimetría*

En octubre de 2005 se efectuaron 13 transectos paralelos a la línea de costa espaciados a cada 1,000 m aproximadamente, con un promedio de 26 fijas por transecto. El control horizontal (coordenadas x, y) se realizó con posicionamiento global y sistema de corrección diferencial por medio de dos receptores GPS de la marca MAGELLAN modelos PROMARK X y XCM, con un radio de precisión de + 50 cm. El control vertical o las profundidades (coordenada z) se obtuvieron para cada fija georeferenciada con una ecosonda marca INTERPHASE modelo ECHO 200 con una frecuencia de trabajo de 200 KHz, que posteriormente fueron corregidas por efecto de la variación de la elevación del nivel medio del mar que se obtuvo a partir de predicción con base en CICESE (2004) para el periodo de las mediciones.

Las coordenadas x, y, z fueron interpoladas linealmente con isóbatas a cada 0.50 m referidas al nivel de bajamar media inferior (nbmi). El control horizontal fue referido al elipsoide WGS84 y el sistema de coordenadas utilizado fue el Universal Transversal de Mercator (UTM), donde el mallado está dado en metros.

### Corrientes y Marea

Se instaló un sensor oceanográfico marca Interocean modelo S4ADW en el frente costero de Bahía Las Guásimas en las coordenadas 27° 49' 39.9" latitud norte, 110° 37' 56.7" longitud oeste, a una profundidad de -5.50 m referido al nivel medio del mar. Se programo el equipo para que registrara cada hora el promedio de mediciones a cada dos minutos, esto por un periodo de 24 horas.

Las series de elevación del nivel medio del mar, así como velocidad e intensidad de corrientes fueron procesadas conforme a Emery y Thomson (1997). A la serie de elevación (t) se le restó el promedio para referir la serie de presión al nivel medio del mar.

Con el objetivo de conocer el comportamiento de las corrientes costeras fuera de la laguna, se utilizó el módulo hidrodinámico del modelo numérico bidimensional verticalmente integrado MIKE21 ELP desarrollado por DHI (1994), que resuelve la ecuación de continuidad (ec. 1) y dos componentes de la ecuación de momentum (ec. 2 y 3). Las ecuaciones se resuelven por el método de diferencias finitas.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + g^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{(C^2)^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega \eta - fV_x + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (Pa) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + g^2 \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{(C^2)^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega \eta - fV_y + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} (Pa) = 0 \quad (3)$$

dónde:  $h$  es la profundidad (m);  $\eta$  es la elevación de la superficie libre (m);  $p, q$  es la densidad del flujo en las direcciones  $x, y$  ( $m^3 s^{-1} m^{-1}$ ) para cada  $(uh, vh)$ ;  $C$  es el coeficiente de Chezy ( $m^2 s^{-1}$ ) donde  $C = Mh^{1/6}$ ;  $M$  es el número de Manning ( $m^{1/3} s^{-1}$ ),  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ );  $\Omega$  es el parámetro de Coriolis en función de la latitud ( $s^{-1}$ );  $Pa$  es la presión atmosférica ( $kgms^{-2}$ );  $\rho_w$  es la densidad del agua ( $kgm^{-3}$ );  $x, y$  son las coordenadas espaciales (m);  $t$  es el tiempo (s);  $fV$  es el factor de fricción de viento;  $V_{x,y}$  son las componentes horizontal y vertical de la velocidad de viento; y  $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$  son las componentes horizontal y vertical de la fuerza de fricción de fondo

$$I = (x^2 + y^2) = \frac{g|\mu|}{C^2} \quad |$$

El modelo se alimentó con la batimetría discretizada y elevación del nivel medio del mar para un ciclo de 48 hrs los días 24 y 25 de octubre de 2005.

Esta campaña en la zona de Bahía de Guásimas, se complementó con información publicada de los procesos oceanográficos reportados para esta región del Golfo de California, de tal forma que se presenta una caracterización de la franja de estudio comprendida desde el Estero de Agiabampo al sur hasta Bahía Kino, al norte en Sonora.

## RESULTADOS

Durante el periodo de estudio, la medusa bola de cañón se presentó desde Agiabampo en la parte sur del Estado de Sonora hasta Bahía Kino al norte, en la costa oriental del Golfo de California. La especie mostró el típico comportamiento de los recursos en pulsos, sin embargo, presentó un periodo definido de aparición con ocurrencia de adultos entre los meses de enero-julio durante 16 a 25 semanas en el área, en respuesta directa a las características ambientales, en concreto a la temperatura (incrementos de 2 grados de temperatura inducen la liberación de las larvas éfiras a la columna de agua, así como la primera lluvia de verano induce el cambio y potencial descomposición de los organismos (López Martínez *et al.* 2005).

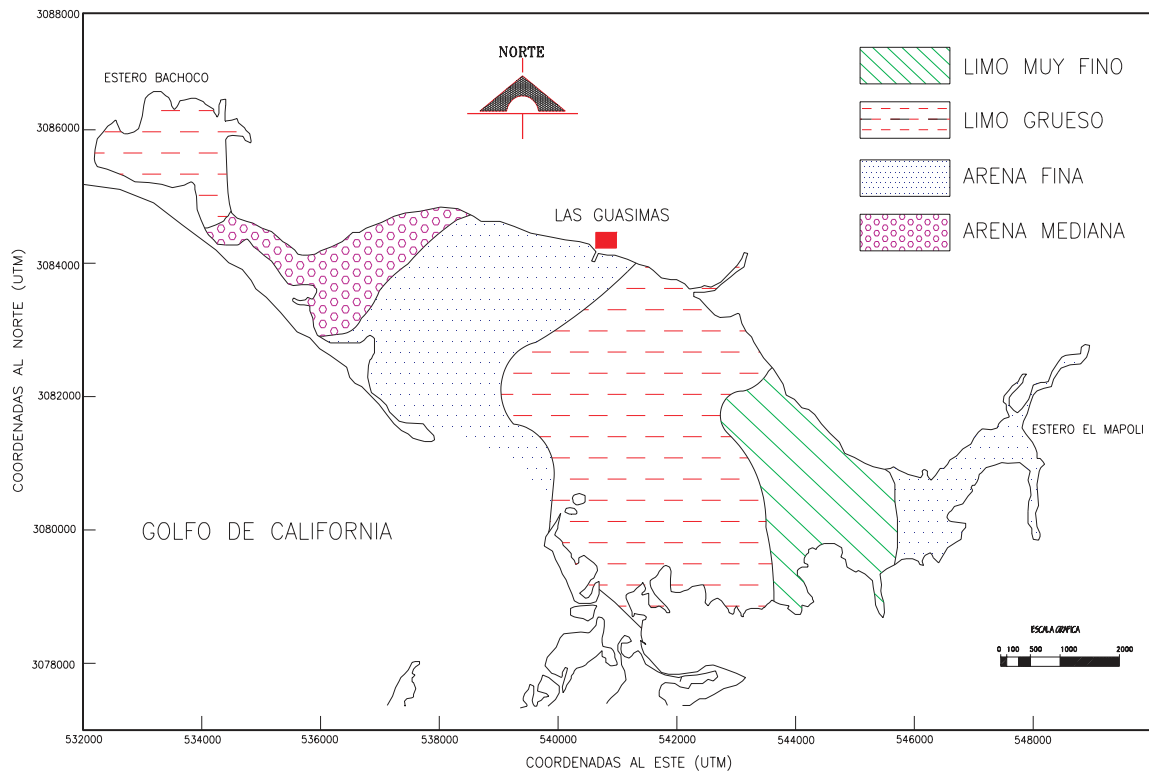
### *Sedimentos*

Durante la campaña de 2004 no se encontraron pólipos en un total de 24 muestras de sedimentos (Tabla I), por lo que se sugiere un muestreo dirigido a los objetos flotantes tales como hojarasca, módulos de ostión y objetos sésiles (pedazos de conchas, etc.). Esta fase se considera crítica dado que los pólipos tienen una longevidad de 4-5 años, más que la fase medusoide (3 –9 meses), que aportan larvas estróbilas por varios años. Es por ello crítico para el manejo de este recurso la localización de los sitios de asentamiento y el cuidado de los mismos, dada su naturaleza frágil (mm de longitud).

Al interior de la laguna, la textura del sedimento se divide en cuatro campos diferenciados por el diámetro promedio de las partículas. En la porción central de la laguna y esteros Bachoco y Mapoli predominan arenas finas y limos gruesos, la arena mediana se ubica en la zona NW debido a la mayor energía de las corrientes (Fig. 3). Los valores porcentuales de materia orgánica tienen una relación directa ( $r= 0.92$ ) con el tamaño del sedimento en unidades phi. El valor máximo encontrado según Villalba *et al.* (1989) fue de 8.65%.

### Batimetría

La batimetría de la zona de mar adyacente de la Bahía Las Guásimas mostró una pendiente gradual desde la -1 m a -11 m. Se apreció una continuación del canal de entrada en la boca de la Bahía con una orientación hacia el sur, con una profundidad promedio de -9 m (Fig. 4).



**Figura 3.** Sedimentos lagunares de la Bahía Las Guásimas, Sonora.

### Marea

Durante el ciclo de muestreo de 24 hrs con inicio el 24 de octubre de 2005 se registró la bajamar de la marea. La elevación máxima fue de 0.444 m y la mínima de -0.337 m, con una amplitud mareal de 0.78 m (Fig. 5).

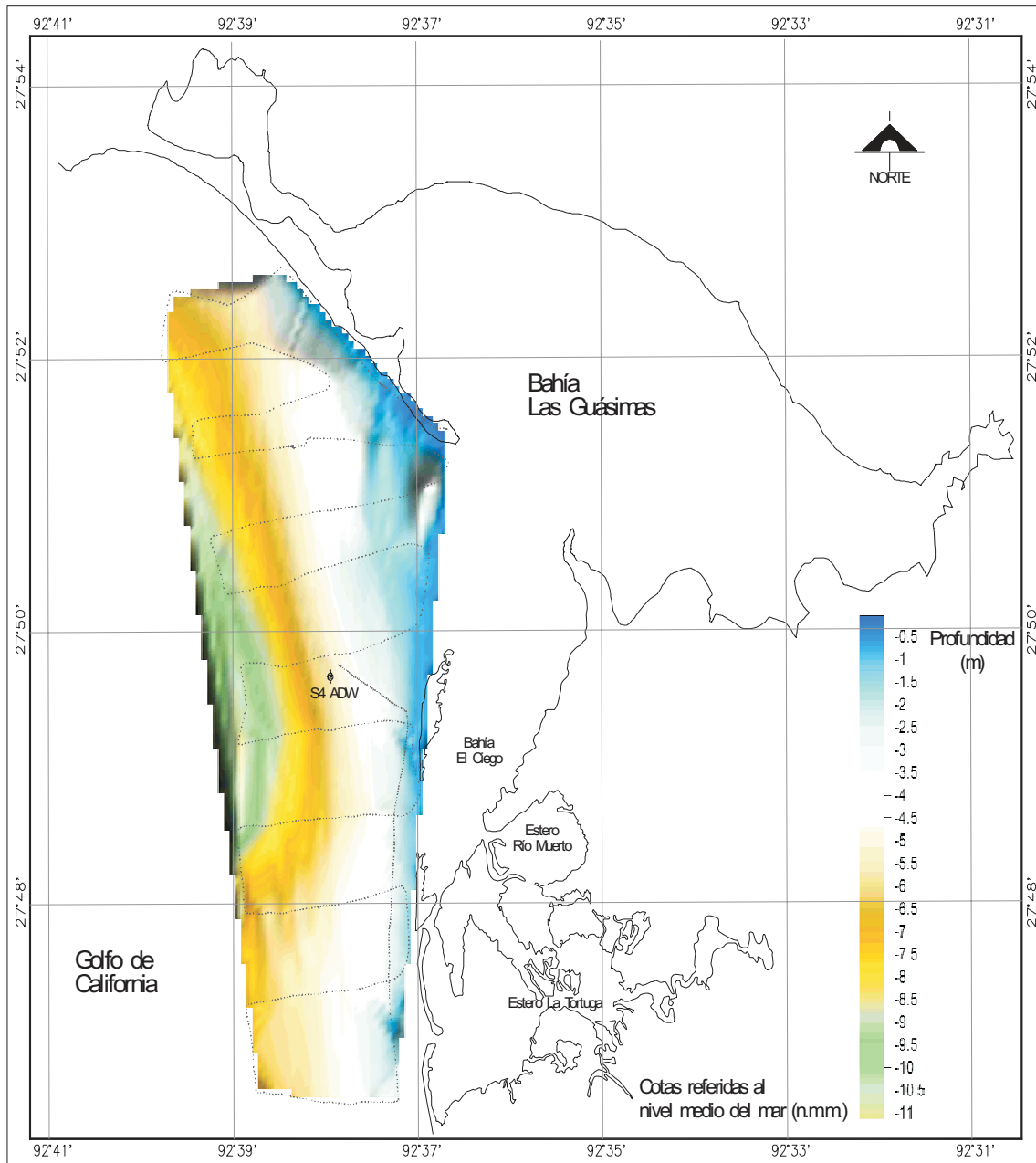
**Tabla I.** Peso de muestra biológica para identificación de pólipos en sedimento marino de Bahía de Guásimas, correspondiente al muestreo realizado el 23 de junio de 2004

Referencia	Peso muestra (gr)	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
Lance 1	190.21	Sin registro	
Lance 2	148.08	Sin registro	
Lance 3	180.69	Sin registro	
Lance 4	834.99	Sin registro	
Lance 5	310.01	536663.03	3083069.76
Lance 6	413.11	536679.28	3083122.12
Lance 7	188.50	536711.74	3083239.15
Lance 8	313.29	536777.33	3085042.53
Lance 9	202.88	536793.02	3083485.57
Lance 10	184.56	536822.66	3083627.21
Lance 11	258.80	536860.53	3083762.71
Lance 12	179.25	536895.55	3083935.14
Lance 13	212.48	536957.51	3084236.88
Lance 14	303.31	536989.94	3084363.14
Lance 15	363.03	537016.91	3084483.23
Lance 16	262.33	537051.90	3084661.81
Lance 17	191.11	537059.67	3084803.38
Lance 18	207.55	537100.13	3084981.98
Lance 19	171.22	537124.27	3085132.83
Lance 20	257.07	537189.31	3085320.74
Lance 21	592.26	537229.87	3085465.49
Lance 22	352.92	537293.29	3084407.16
Lance 23	290.44	537352.89	3084585.81
Lance 24	431.02	537437.33	3084687.62

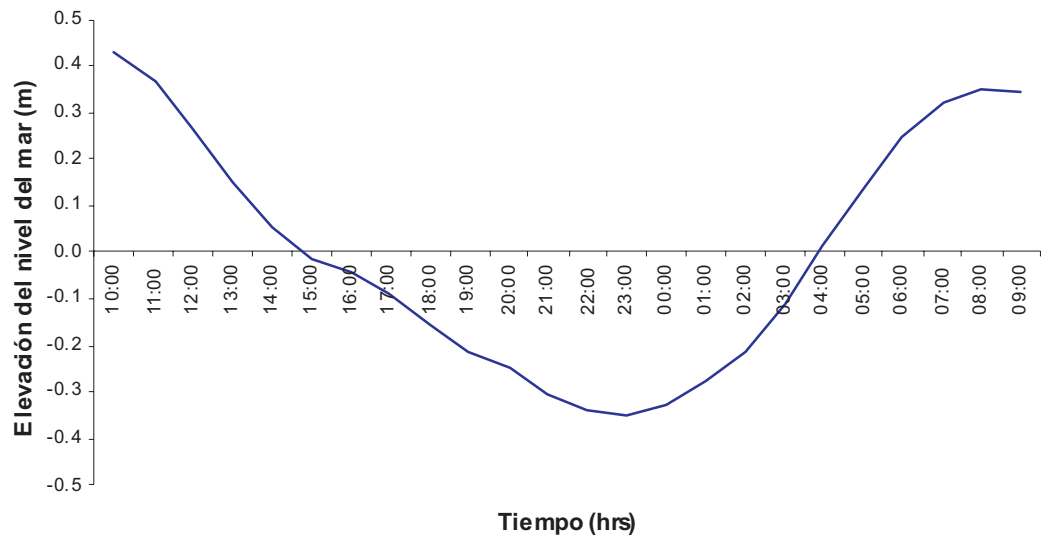
*Corrientes*



La velocidad máxima registrada a 5 m de profundidad fue de  $0.07 \text{ ms}^{-1}$  y la promedio de  $0.038 \text{ ms}^{-1}$ , con intensidad máxima durante la noche a partir de las 20:00 hrs y asociado a la fase de bajamar de la marea (Fig. 6).

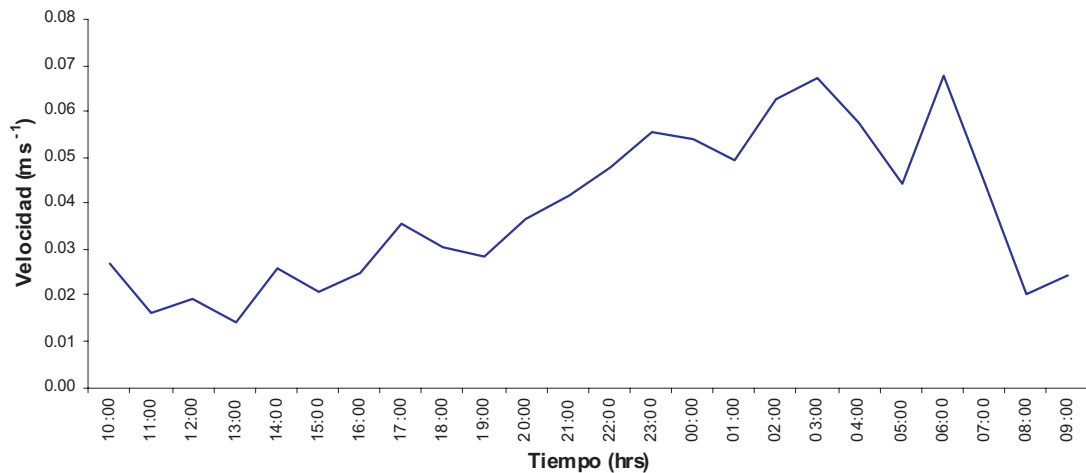


**Figura 4.** Batimetría de mar adyacente a Bahía Las Guásimas y ubicación de sensor oceanográfico S4 ADW.

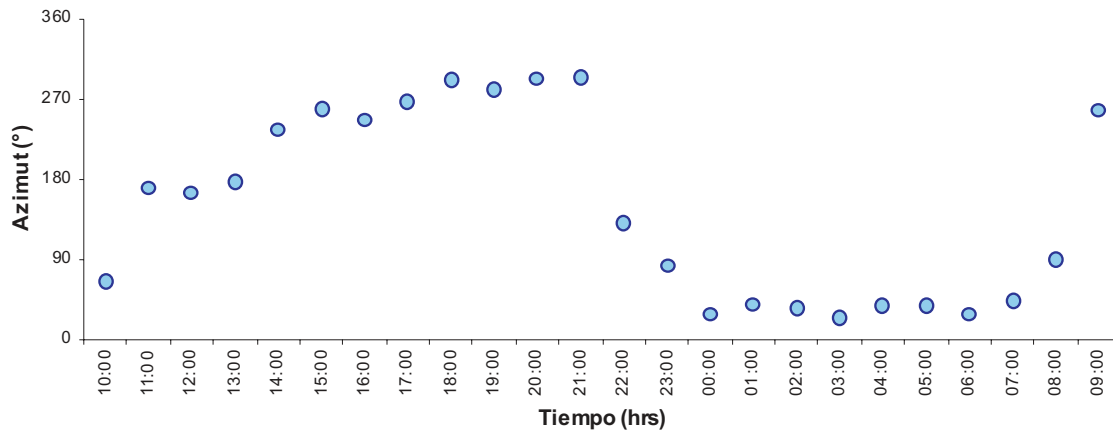


**Figura 5.** Ciclo de 24 hrs de elevación del nivel mar en zona costera de Bahía Guásimas, Son.

Las corrientes se agruparon en dos cuadrantes, el primero en la dirección  $0^\circ - 90^\circ$  y el segundo de  $91^\circ$  a  $335^\circ$ . Las de mayor magnitud se asociaron a los  $45^\circ$  de azimut, representativo a la dirección noreste y las de menor intensidad se asociaron a  $235^\circ$  de azimut (Fig. 7).



**Figura 6.** Velocidad de corrientes en el frente costero de Bahía Las Guásimas (24 y 25 de octubre de 2005).



**Figura 7.** Aproximación de corrientes litorales en el frente costero de Bahía Las Guásimas (24 y 25 de octubre de 2005).

Las corrientes costeras obtenidas a partir de la simulación en un frente costero de 4,175 Ha, mostraron que los patrones de flujo y reflujo, por efecto de la circulación interna del sistema Bahía de Guásimas, influyeron en la generación de dos celdas de circulación con velocidad promedio de hasta  $0.04 \text{ ms}^{-1}$ . Las celdas de circulación se presentan desde las bocas hasta la isóbata de los -7 m y a partir de esa profundidad se observó una alineación de los vectores velocidad con los contornos batimétricos (Fig. 8).

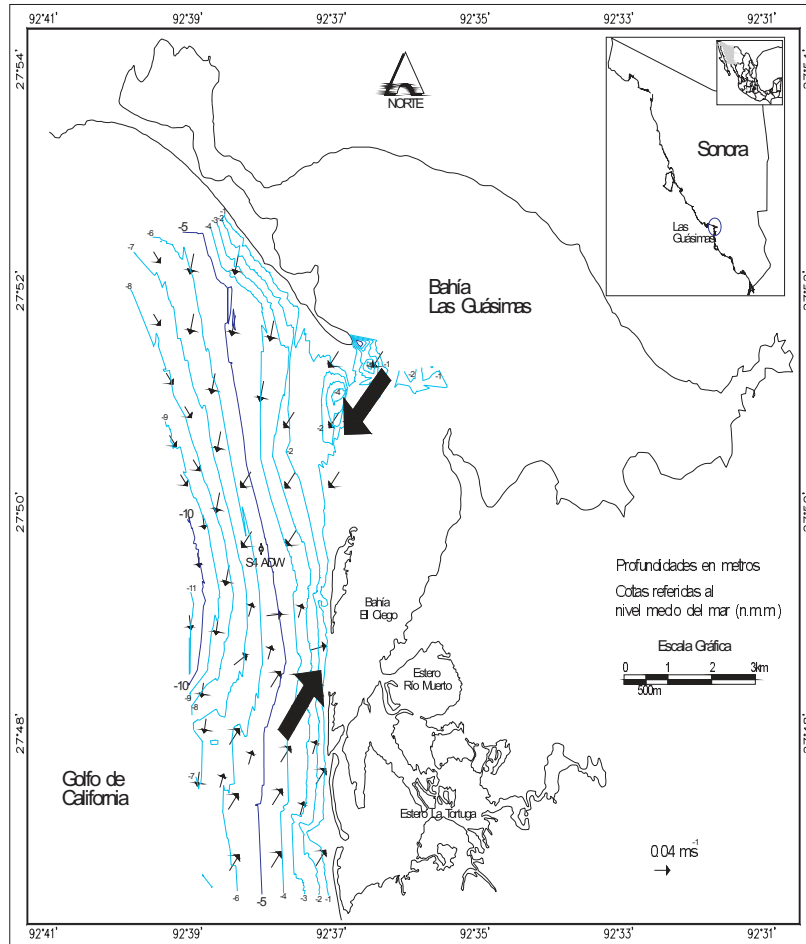
La dinámica de la zona de entrada de la Bahía Las Guásimas estuvo caracterizada por los flujos salientes del interior de la bahía y los entrantes desde el mar adyacente. La zona litoral de la bahía tuvo un comportamiento oceanográfico típico de playas del Golfo de California, con corrientes litorales alineadas a los contornos batimétricos, con magnitud menor a  $0.5 \text{ ms}^{-1}$ . Las corrientes superficiales fueron influenciadas por el patrón de viento local, con una alternancia en la dirección desde los  $150^\circ$  a  $335^\circ$  de azimuth, con una dirección promedio de  $158^\circ$  asociada a eventos de brisas tierra-mar provenientes del cuadrante NE – SSE (Fig. 9) y concuerda con las observaciones realizadas por Roden (1964).

### *Plancton*

En la campaña 2004-2005 del análisis de plancton para ubicar larvas y las prospecciones de medusa:

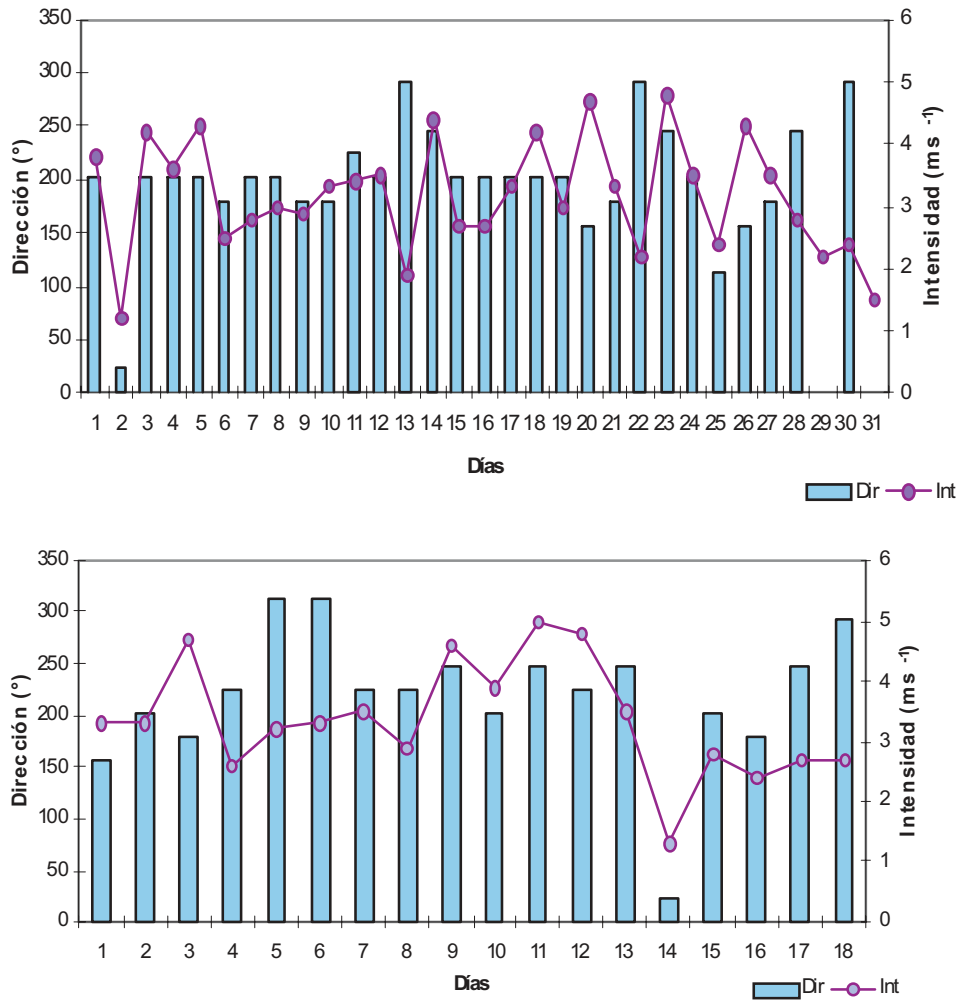
- a) No se detectaron larvas plánula de medusa
- b) Hubo presencia de larvas éfiras a partir de noviembre y hasta mayo
- c) Hubo presencia de adultos de marzo-abril a julio-agosto y ausencia durante los meses de septiembre y octubre

- d) Sólo en Bahía Las Guásimas se presentó una mayor recurrencia en aparición y duración del periodo de presencia.



**Figura 8.** Patrón de corrientes costeras predichas para 24 y 25 de octubre 2005 en el frente costero de Bahía Las Guásimas, Son.

En Bahía las Guásimas la presencia de ctenóforos (su presencia es precursora de la aparición de las medusas) y medusas se concentró en la boca norte del sistema asociado a la punta de la barra arenosa e islote central, que comparten como característica la presencia de mangle (Fig. 10). Asimismo, corresponde a zonas con influencia del patrón de vientos regional. Es importante señalar que a partir de la combinación de información biológica, con la descripción de corrientes en la zona de la boca se orientó la búsqueda de pólipos hacia estos sectores de la bahía.



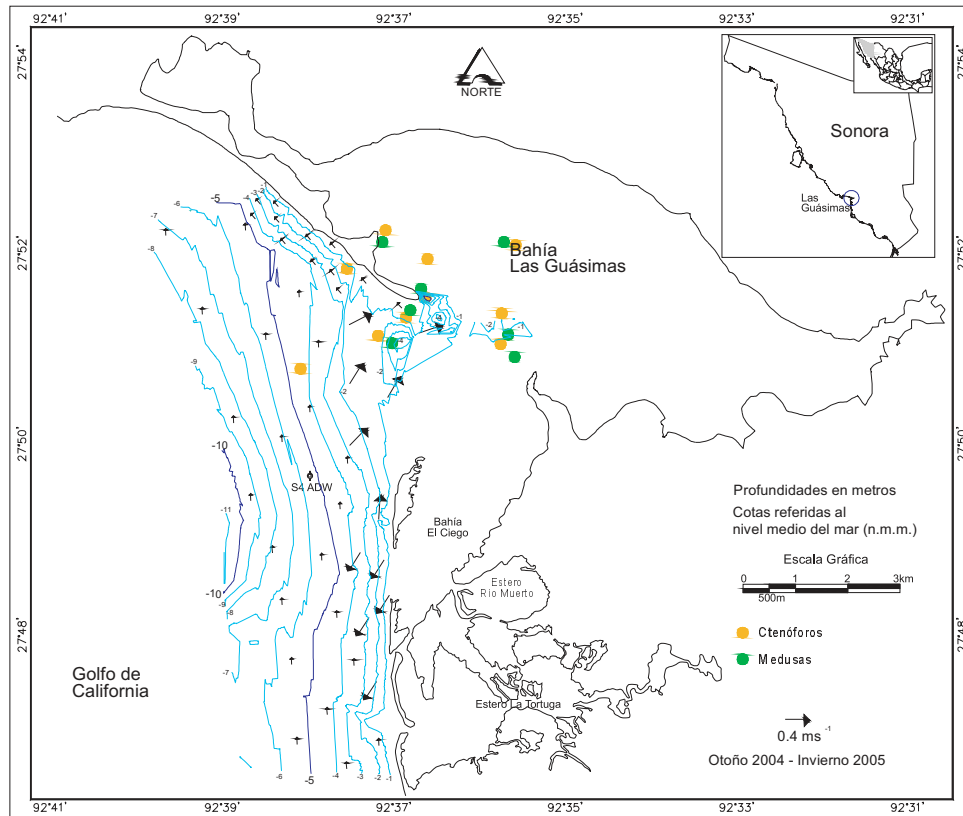
**Figura 9.** Magnitud y dirección de viento durante el mes de octubre en la Estación Empalme, Son.: (arriba) 2004 y (abajo) 2005.

## DISCUSIÓN

La medusa bola de cañón se presentó desde Agiabampo en la parte sur del Estado de Sonora hasta Bahía Kino al norte. Esta zona de acuerdo con Roden y Groves (1959) pertenece a la parte sur del Golfo de California, en la porción oriental donde la plataforma continental es ancha, caracterizada por cuencas profundas, rango de marea del orden de 1 m, corrientes superficiales con dirección sureste en invierno y noroeste en verano, en función del patrón estacional de vientos; la temperatura del agua presenta marcada variación estacional y la salinidad una variación mínima (Maluf 1983).

Es una zona considerada como región semi-árida (Valle-Levinson *et al.* 1999), dado que la evaporación es mayor que la precipitación, con un régimen mixto de lluvia con máximo en

verano (agosto-septiembre) y un segundo periodo menos acentuado en invierno (diciembre-enero), en el que la precipitación corresponde al 25% del total anual. El golfo es la única cuenca evaporítica del Pacífico, comparable al Mediterráneo o Mar Rojo (Beron-Vera y Ripa 2000).



**Figura 10.** Simulación de velocidad de corrientes costeras predichas para 24 y 25 de octubre 2005 en el frente costero de Bahía Las Guásimas, Son, así como ubicación de larvas plánula y ctenóforos.

El campo de vientos sobre el golfo es de naturaleza Monzónica (Douglas *et al.* 1993), con máximos en invierno–primavera, cuando la dirección es predominantemente noroeste y en verano la dirección dominante es sureste (Roden 1958, Ripa 1997, Beier 1997).

La incidencia ciclónica en el golfo es en los meses de mayo a noviembre con mayor ocurrencia en agosto y septiembre. Estos eventos tienen influencia tanto en la precipitación como en sobre-elevación del nivel medio del mar.

El patrón de distribución estacional y espacial de la medusa como organismo zooplanctónico es influenciado por los procesos oceanográficos, tal como circulación



costera, distribución y características de las masas de agua, como señalan Barz *et al.* (2006). Marinone y Ripa (1988), Beier (1997), han modelado la circulación en el golfo bajo tres forzamientos: marea, viento y densidad. Para los tres forzamientos, el patrón de circulación es similar, siendo la circulación baroclínica la que señala dos capas diferentes en el patrón de circulación.

Las aproximaciones geostróficas y de modelos barotrópicos y baroclínicos, señalan que la circulación superficial en el golfo es de tipo ciclónica en los meses de primavera-verano y anticiclónica en otoño-invierno. En el primer caso el flujo de entrada es de lado de las costas de Sonora y Sinaloa con velocidades que no exceden los  $5 \text{ cms}^{-1}$  y que se incrementan a partir de la isóbata de los 70 m (40 brazas), donde por efectos de la topografía submarina y procesos de interacción océano-atmósfera se genera una separación de dos capas de agua, con fuertes gradientes transversales como señala Bray (1988).

La circulación baroclínica del golfo, así como la generada por el factor tensor de viento (capa superficial) definen un intenso giro por el sentido de los flujos entrantes y salientes que interactúan con la geomorfología y batimetría del golfo, presentes en verano de forma anticiclónica cuando el flujo es entrante por las costas de Sonora (Beier 1997, Pegau *et al.* 2002).

Las estructuras de mesoescala de los giros en el golfo son de importancia para la distribución de organismos cuyo movimiento depende de la corriente. Asimismo, influye en la distribución de las masas de agua, particularmente las superficiales. Molina-Cruz (1988), así como Pérez-Cruz y Molina-Cruz (1988) han descrito seis masas de agua para el golfo, de las que tres corresponden a la zona de estudio:

- (1) *Agua de Guaymas*, caracterizada por una alta productividad primaria, con frontera espacial desde Islas Ángel de la Guarda hasta Isla Tiburón y el paralelo  $26.5^\circ$ .
- (2) *Agua transicional* (Warsh *et al.* 1973) o del golfo, al sur entre  $26.5^\circ$  y  $24.5^\circ$ , producto de la evaporación ejercida sobre el agua tropical subtropical que incursiona en el golfo. Es agua de alta salinidad ( $S > 34.90$ ).
- (3) *Agua tropical subtropical del Pacífico Oriental*, ubicada entre  $24.5^\circ$  y la boca del golfo, que por su comunicación directa con el Océano Pacífico presenta salinidades de 34.60 a 34.90 y temperaturas mayores a  $25^\circ\text{C}$ .

Asimismo, de forma subsuperficial y bajo la termoclina el *Agua de la Corriente de California* influye sobre esta última, ya que bordea la punta de la Península de Baja California con agua de temperatura relativamente fría ( $T < 22^\circ\text{C}$ ) y de baja salinidad ( $S < 34.60$  ppm) (Robinson 1973).

La acción combinada de forzamientos físicos, tales como (i) transferencia de energía océano-atmósfera en la capa superficial, (ii) el régimen estacional de vientos, (iii) advección de calor generada por el patrón estacional de corrientes geostróficas, y (iv) el acoplamiento de la acción de enfriamiento-calentamiento de la capa superficial con el surgimiento-abatimiento de la termoclina son los responsables de la variabilidad oceanográfica del golfo (Herguera *et al.* 2003).

Respecto a celdas de circulación costera se pueden definir tres áreas de interés en el marco de la zona de estudio: (i) zona oceánica con profundidades mayores a 20 brazas, (ii) zona litoral (profundidades menores a 20 brazas) y (iii) boca de cuerpos lagunares costeros.

### **Interacción lagunas – zona costera**

La franja de estudio engloba cuerpos lagunares costeros, que tienen comunicación permanente con el golfo. Son estuarios negativos y en general dominan los procesos evaporativos sobre la precipitación (Arreola-Lizárraga 2003, Burrola-Sánchez 2003), siendo las de mayor extensión Bahía de Guaymas, Bahía Las Guásimas, Estero de Lobos, Estero El Tóbari, Bahía Yavaros y Estero Agiabampo.

Durante el presente trabajo se encontró una concentración del organismo en fase juvenil en la Bahía Las Guásimas con patrón de distribución dependiente del campo de corrientes superficiales hacia la franja costera adyacente a la bahía en su fase pelágica. La zona litoral de bahía Las Guásimas tuvo un comportamiento oceanográfico típico de playas del Golfo de California, con corrientes litorales alineadas a los contornos batimétricos, con magnitud menor a  $0.5 \text{ ms}^{-1}$  (Burrola-Sánchez 1995). Las corrientes superficiales fueron influenciadas por el patrón de viento local, con una alternancia en la dirección de aproximación desde los  $150^\circ$  a  $335^\circ$  de azimut, con una dirección promedio de  $158^\circ$  asociada a eventos de brisas tierra-mar provenientes del cuadrante NE–SSE y concuerda con las observaciones realizadas por Roden (1964).

El forzamiento de las corrientes litorales se debe a la transferencia de momentum océano-atmósfera a través del factor tensor de viento que provoca cizallamientos en la superficie libre del mar (Beer 1997) así como a la acción de oleaje con aproximación oblicua sobre la línea de costa desde el cuadrante sur a oeste-noroeste (Burrola-Sánchez, 1995). Tanto las corrientes marinas como la elevación por marea son constantes (Lavín *et al.* 1997, Beier 1997). Hacia la porción norte Burrola-Sánchez *et al.* (2005) encontraron que las magnitudes de la corriente están en función de la profundidad y en el caso de la franja costera entre Cerro Colorado y El Choyudo son menores a  $1 \text{ cms}^{-1}$ .

La región de la boca de las lagunas es de gran importancia para la distribución temporal y espacial del organismo debido a los procesos de intercambio y el balance hidráulico que generan con el mar adyacente, como exportadoras de nutrientes (Bustos-Serrano *et al.* 2005). La dinámica en la boca de los cuerpos lagunares se caracteriza por flujos salientes del interior de la bahía y los entrantes desde el mar adyacente, con inversión durante las fases de flujo y reflujo de la marea. Particularmente, en Bahía Las Guásimas la franja contigua al islote que divide la boca en dos favoreció el incremento de la velocidad por efecto del estrechamiento en los contornos batimétricos y características propias de la circulación de tipo barotrópico en presencia de barreras litorales (De Vriend 1991).

En la cercanía de la boca tienden a dominar los procesos generados por la marea en el interior del cuerpo de agua, donde el balance de fuerzas primarias en este tipo de sistema de acuerdo a Swift y Brown (1983), así como Friedrichs y Madsen (1992) es entre la fricción y el gradiente de presión.

En general la medusa tiene dos ciclos de vida distintivos, la fase de pólipo y la fase pelágica en estadio de efíra, plánula y medusa (Eckelbarger y Larson 1999). Durante la fase

pelágica la medusa se encontró en la zona litoral de la franja de estudio, con distribución altamente dependiente del patrón de corrientes de la zona. Queda por confirmar si la fase pólipo presenta su fijación en el interior de los cuerpos lagunares costeros fijados al sustrato bentónico ó si son acarreados por corrientes desde aguas profundas.

Los pulsos de ocurrencia de la medusa en la franja de estero Agiabampo a Bahía Kino son altamente influenciados por los procesos oceanográficos del Golfo de California, por lo que el balance hidráulico entre las lagunas y el mar adyacente es importante como fuente de aporte de nutrientes, amonía y carga orgánica.

El presente estudio de la circulación costera (con énfasis en la distribución), fue dirigido a la zona de boca y frente costero de bahía Las Guásimas (parte central), por lo que se sugiere extender el estudio en la franja costera para integrar en un modelo de advección-dispersión las variables biológicas y oceanográficas que permitan determinar el área de asentamiento, así como llevar a cabo estudios sobre el papel funcional de la medusa en el ecosistema costero del Golfo de California, a la luz de su creciente abundancia.

## **AGRADECIMIENTOS**

El desarrollo de la presente investigación tuvo financiamiento de la empresa Pesquera México, S.A. de C.V., mediante el permiso de pesca de fomento No. 18120303-613-03-3387. Se agradece el apoyo del Laboratorio de Pesquerías y Manejo Costero del CIBNOR Unidad Sonora, así como el proyecto EP1.0 del CIBNOR.

## **REFERENCIAS**

- Álvarez-Tello J., Velásquez-Esparza J. R., López Guzmán R. y R. Torres Jiménez. 2003. Informe Final entregado a CONAPESCA del proyecto Estimaciones de abundancia de la medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*) al sur de Sonora para el establecimiento de una pesquería sustentable. Permiso de Pesca No. 280702-613-03. 56 pp.
- Arreola-Lizárraga, J.A. 2003. Bases de manejo costero: Patrones ecológicos en la laguna costera Las Guásimas, Territorio Yaqui, México. Tesis Doctoral, CIBNOR, S.C. La Paz, B.C.S. 65 pp.
- Barz, K., H.H. Hirinchen y H.J. Hirche. 2006. Scyphozoa in the Bornholm Basin (Central Baltic Sea)-The role of advection. *Journal of Marine Systems* 60, 167-176.
- Beer, T. 1997. *Environmental oceanography*. Second Edition. CRC, Boca Ratón, Fl. 367 p.
- Beier, E. 1997. A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, 27,615-632.
- Beron-Vera, F.J. y P. Ripa. 2000. Three dimensional aspects of the seasonal heat balance in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 105(C5), 11441-11457.
- Bray, N.A. 1988. Termohaline circulation in the Gulf of California. *Jour. of Geophys. Res.*,

93, 4993-5020.

- Brodeur, R.D., C. E. Mills, J.E. Overland, G.E. Walters and J.D. Schumacher, 1999. Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. *Fisheries Oceanography*, 8: 296-306.
- Burrola-Sánchez, M.S. 1995. Impacto de la construcción de escolleras en la línea de playa de la Bahía de San Francisco en San Carlos, Nuevo Guaymas, Son. Tesis Profesional, Instituto Tecnológico del Mar-Guaymas, Guaymas, Son. 74 p.
- Burrola-Sánchez, M. S. 2003. Hidrodinámica de la Bahía de Guaymas, Sonora, México y su aplicación en casos de manejo. Tesis de Maestría, ITMAR 03, Guaymas, Son., 92 p.
- Burrola-Sánchez, M.S., G. Padilla-Arredondo y D. Urias-Laborín. 2007. Patrón de corrientes en la franja costera de El Choyudo, Son. Informe técnico Interno, CIBNOR, S.C. 10 p.
- Burrola-Sánchez, M.S., G. Padilla-Arredondo, D. Urias-Laborín. 2006. Corrientes marinas en el frente costero de Bahía Las Guásimas, Son. Condición octubre. Informe Técnico Interno, CIBNOR, S.C. Unidad Guaymas, 15 p.
- Bustos-Serrano, H. y R. Castro-Valdez. 2005. Flux of nutrients in the Gulf of California: Geostrophic approach. *Marine Chemistry*, 9(1-4): 210-219.
- CICESE, 2004. Programa de predicción de marea MAR versión 0.32. Ensenada, B.C.
- Costello, J H y Colin S P. 1995. Flow and feeding by swimming scyphomedusae *Marine Biology* 124 ( 3 ): 399-406
- De Vriend, H.J. 1991. Mathematical modeling of meso-tidal barrier island coasts, part I: physical processes. *Journal of Hydraulic Research*, 29, 727-740.
- DHI. 1994. Hydrodynamic module. User's guide, release 2.4, General utilities, Danish Hydraulic Institute, Hørsolm, Denmark, 76 p.
- Douglas, M.W., R.A. Maddox, K. Howard y S. Reyes. 1993. The mexican monsoon. *Journal of Climate*, 6, 1665-1677.
- Emery, J.W. y R.E. Thomson. 1997. *Data analysis methods in physical oceanography*. Pergamon, 634 pp.
- Fiedrichs, C.T. y O.S. Madsen. 1992. Nonlinear diffusion of the tidal signal in frictionally dominated embayments. *Journal of Geophysical Research*, 97, 5637-5650.
- García, E. 1968. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Primera edición, Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. 71pp.
- Gómez Aguirre, S. 1991. The ephyrae larvae and differentiation of *Stomolophus meleagris* Scyphozoa Rhizostomeae from plankton of coastal lagoons in Tabasco México. *Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México Serie Zoología* 62 (3): 383-389.
- Herguera, J.C., G. Bernal-Franco y A. Molina-Cruz. 2003. Decadal surface ocean variability in the upper Gulf of California: Records for the past 300 years. *Geofísica Internacional*, 42(3):397-406.
- Hsieh, Y.H. P; F. M. Leong & J. Rudlor. 2001. Jellyfish as food. *Hydrobiología* 451: 11-17.
- Huang, Y.P., Christian & D. Colson. 1988. Harvest and preservation of shrimp by catch:

- cannonball jellyfish (*Stomolophus meleagris*). Proceedings. XII Annual Conference of the Tropical and Subtropical Fisheries Technological Society of de Americas. University of Florida, Gainesville, E.U.A.
- Larson, R.J. 1991. Diet, prey selection and daily ration of *Stomolophus meleagris*, a filter feeding scyphomedusa from the NE Gulf of Mexico. Eastern Coastal Shelf Science.
- Lavín, M.F., E. Beier y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. In: M.F. Lavín (Ed.), Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, p. 141-171.
- López Martínez, J., R. Morales Azpeitia, G. Padilla Arredondo, E. Herrera Valdivia, C. Rodríguez, S. Burrola, E. Alcántara Razo. 2005. Estimaciones de abundancia de la medusa “bola de cañón” (*Stomolophus meleagris*) al sur de Sonora para el establecimiento de una pesquería sustentable. Informe final de actividades. 255 pp
- López Martínez J., R. Morales Azpeitia, G. Padilla Arredondo, E. Herrera Valdivia, C. Rodríguez, S. Burrola. 2007. Estimaciones de abundancia de la medusa “bola de cañón” (*Stomolophus meleagris*) al sur de Sonora para el establecimiento de una pesquería sustentable. Informe Final de actividades. 300 pp.
- Maluf, L.I. 1983. The physical oceanography. En: van Andel, T.H. y G.G. Shor Jr. (Eds.), Marine Geology of the Gulf of California, A Symposium, The American Association of Petroleum Geologist, Tulsa, Mem. 3, pp. 30-58.
- Marinone, F. G. y M. F. Lavín. 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California. In: M.F. Lavín (ed.), Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, 113-138 pp.
- Marinone, S.G. y P. Ripa. 1988. Geostrophic flow in the Guaymas Basin, Central Gulf of California. Continental Shelf research 8, 159-166.
- Mills, C. E. 2001. JellyFish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions. Hydrobiologia, 451:55-68.
- Mills, Claudia E. 1982. Patterns and mechanisms of vertical distribution of medusae and ctenophores. Ph.D. Dissertation, Department of Biology, University of Victoria, B.C. Canada, 384 pp.
- Molina-Cruz, A. 1988. Late quaternary oceanography or the mouth of the Gulf of California: The polycistine connection. Paleooceanography, 3(4):447-459.
- Ocaña-Luna, A. y Gómez-Aguirre S. 1999. *Stomolophus meleagris* (Scyphozoa : Rhizostomeae) in two coastal lagoons of Oaxaca, Mexico. Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México Serie Zoología 70 (2): p 71-77.
- Omori, M.1981. Edible jellyfish Scyphomedusae Rhizostomeae in the far-east waters a brief review of the biology and fishery. Bulletin of Plankton Society of Japan 28 (1): p 1-12.
- Pegau, W.S., E. Boss y A. Martínez. 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. Geophysical Research Letters 29(9):1-3.
- Pérez-Cruz, L. y A. Molina-Cruz. 1988. el Niño 1983: efecto sobre la distribución de los silito-flagelados del Golfo de California. Ciencias Marinas, 14(3): 9-38.

- Pitt, Kylie Anne y Kingsford, Michael J. 2003. Temporal variation in the virgin biomass of the edible jellyfish, *Catostylus mosaicus* (Scyphozoa, Rhizostomeae). Fisheries Research, Vol. 63, pp. 303-313
- Purcell, J. E. y M. N. Arai. 2001. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: A review. Hydrobiologia 451 (Dev. Hydrobiol. 155): 27-44.
- Ripa, P. 1997. Towards a physical explanation of the seasonal dynamics and thermodynamics of the Gulf of California. Journal of Physical Oceanography, 27: 597-614.
- Robinson, M.K. 1973. Atlas of monthly mean sea surface and subsurface temperature in the Gulf of California, Mexico. San Diego Soc. Nat. Hist., Memoir 5, 19 pp.
- Roden, G.I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. Marine Geology in the Gulf of California. En: T.H. van Andel y G.G. Shor Jr. (eds.), Memoir American Association Petrology and Geology, 3:30-58.
- Roden, G.I. y G.W. Groves. 1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. Jour.Mar. Res., 118: 10-35.
- Shulman. 1995. Jellyfish as food for Americans (homorous essay).
- Swift, M.R. y W.S. Brown. 1983. Distribution of bottom stress and tidal energy dissipation in a well mixed estuary. Estuar.Coast.Shelf Sci 17,297-317.
- Valle-Levinson, A., J.A. Delgado-Contreras y L.P. Atkinson. 2001. Reversing water exchange patterns at the entrance of a semiarid coastal lagoon. Estuar.Coast.Shelf Sci. 53, 825-838.
- Warsh, C.E., K.L. Warsh y R.C. Stanley. 1973. Nutrients and water masses at the mouth of the Gulf of California. Deep Sea Res.20, 561-570.



# **LAS CAPTURAS DE SARDINA MONTERREY *Sardinops sagax* (JENYNS, 1842) Y SU RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE Y EL ESFUERZO PESQUERO.**

*Manuel O. Nevárez Martínez<sup>1</sup>, Miguel A. Cisneros Mata<sup>1</sup> y Daniel Lluch Belda<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesca, Unidad Guaymas. Calle 20 Sur No. 605, Col. La Cantera, Guaymas, Sonora. 85400, México. Tel./Fax: (622) 222-5925; (622) 222-1021.

e-mail: [manuel.nevarez@prodigy.net.mx](mailto:manuel.nevarez@prodigy.net.mx).

<sup>2</sup>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR – IPN). Apdo. Postal 592. La Paz, B.C.S., México. C.P. 23000.

## **RESUMEN**

La relación entre las capturas y la CPUE con variables ambientales y el esfuerzo pesquero para la sardina monterrey del Golfo de California, fue explorada usando modelos de regresión múltiple no lineal, incorporando diferentes variables exógenas: esfuerzo pesquero, temperatura superficial del mar, índice de surgencia y el índice de turbulencia (velocidad del viento al cubo). También se usaron modelos aditivos generalizados, utilizando el algoritmo ACE para estimar las transformaciones óptimas de las variables de respuesta y predictoras para la regresión múltiple. Los resultados indican que la relación entre la captura o la CPUE es de tipo no lineal y se muestra que una combinación de varias variables es requerida para que haya altas capturas o CPUE. Estas condiciones óptimas son surgencias moderadas (60-80 m<sup>3</sup>/s), temperaturas del agua alrededor de 24 °C (23.5 - 24.5 °C) y esfuerzo pesquero entre 8,500 y 9,000 viajes de pesca. Estos factores podrían ayudar a predecir cambios bajo futuros eventos climáticos.

## **INTRODUCCIÓN**

La captura de peces marinos representan el 75% de las desembarques a nivel mundial y aproximadamente un tercio son pelágicos menores (FAO 1997, Cury *et al.* 1998). Un aspecto importante es que las más importantes pesquerías de pelágicos menores están localizadas en las áreas de surgencias de los grandes giros oceánicos, v. g., la corriente de Humboldt, de California, de Benguela, etc. Una característica de los stocks de peces pelágicos menores es su conocida inestabilidad, y en muchos trabajos se han examinado las causas de las fluctuaciones de las capturas y del reclutamiento (v.g., Cury y Roy 1991, Kawasaki 1992, Lluch-Belda *et al.* 1992, Cury *et al.* 1995, Bakun 1996). Factores medioambientales tales como la mezcla por viento, intensidad de las surgencias, corrientes, temperatura juegan un papel importante en el éxito o fracaso del reclutamiento y de la productividad de los peces pelágicos (Bakun y Parrish 1982, Lluch-Belda *et al.* 1992, 1995, Bakun 1996, Cury *et al.* 1998, Daskalov 1999).

Las estadísticas de captura de peces son la única fuente de datos que ha sido colectada en la mayoría de las zonas pesqueras por largos periodos de tiempo. Así y no obstante los sesgos que este tipo de información pueda tener, los datos pesqueros pueden ser utilizados como un

subrogado de la productividad biológica de cualesquier especie y por lo tanto reflejar cambios en su abundancia (Cury *et al.* 1998, Faure y Cury 1997). En este trabajo se analiza la relación entre las capturas y la CPUE (como índices de productividad de peces) con variables ambientales y el esfuerzo pesquero para la sardina monterrey del Golfo de California, México.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Métodos estadísticos estándar usados en pesquerías para el análisis de la relación entre dos o más variables, comúnmente han utilizado análisis de regresión lineal directos o han realizado transformaciones a priori, tales como las logarítmicas (Ricker 1975, Bakun y Parrish 1980, Crecco *et al.* 1986, Tyler 1992, Cury *et al.* 1995).

Sin embargo, ya que la forma correcta de la relación entre esas variables no se conoce a priori, se necesitan usar métodos para explorar y estimar la forma funcional apropiada (Cury *et al.* 1995, Faure y Cury 1997, Daskalov y Prodanov 1997, Daskalov 1999). En este caso se utilizó un algoritmo conocido como ACE (Alternating Conditional Expectation) (Breiman y Friedman 1985) para estimar las transformaciones óptimas de la variable dependiente (a predecir) y las variables independientes (predictoras), las cuales extienden el análisis de regresión lineal múltiple a modelos aditivos generalizados (Hastie y Tibshirani 1990, Cury *et al.* 1995). El modelo es aditivo en las transformaciones de los datos transformados empíricamente (Cury *et al.* 1995).

La forma usual del modelo de regresión lineal múltiple para predecir una variable dependiente  $Y$  a partir de  $p$  variables independientes  $X_i, i=1, \dots, p$  y  $n$  observaciones,  $j=1, \dots, n$ , esta dada por:

$$Y(j) = \sum_{i=1}^p b_i * X_i(j) + e(j)$$

En este caso, las  $e(j)$  son independientes. En el modelo aditivo generalizado o modelo de regresión múltiple no-lineal la variable  $Y$  y los predictores  $X_1, \dots, X_p$  son reemplazados por funciones  $T_1(Y)$  y  $T_2(X_1), \dots, T_{p-1}(X_p)$ :

$$S[Y(j)] = \sum b_i * T_i[X_i(j)] + w(j)$$

En esta ecuación las funciones no lineales  $S(Y)$  y  $T_i(X)$  se desconocen y deben ser estimados a partir de los datos de manera no paramétrica. Las  $w(j)$  son variables aleatorias (Mendelsohn 1989, Cury *et al.* 1995, Faure y Cury 1997).

Utilizando ACE, el cual es un algoritmo iterativo, se estimó la última ecuación. En cada iteración, dado los estimados actuales de  $S(i)$  y  $T_i(i)$ , para  $i$  diferente de  $k$ , los residuos parciales:

$$S [Y (j)] - \sum_{i=k}^p b_i * T_i [X_i(j)]$$

fueron calculados y la transformación  $T_k()$  es calculada como la expectación condicional de los residuos parciales dado  $X_k$ . Esta expectación condicional fue estimada a partir de los datos usando un suavizador (Breiman y Friedman 1985). El algoritmo converge a soluciones óptimas para un criterio dado. En este caso, en ACE el criterio fue la correlación máxima entre la variable dependiente transformada y las variables predictoras (o independientes) también transformadas (Cury *et al.* 1995).

Por otro lado, una vez obtenido los resultados con los modelos aditivos generalizados, y a través del análisis gráfico de la relación entre la variable dependiente (índices de productividad; captura y CPUE) y las variables independientes (Esfuerzo de pesca, Índice de surgencia, Temperatura Superficial del Mar y Turbulencia) se procedió a probar modelos de regresión múltiple no-lineal con las variables originales (no transformadas), con el fin de encontrar un modelo predictivo para la productividad biológica. En este caso se probaron diferentes modelos que incluyen tanto al esfuerzo de pesca y a una o más variables medioambientales o solo variables ambientales. De tal forma que:

$$IP = f(E, x_1, \dots, x_m)$$

donde  $IP$  es el índice de productividad (captura o CPUE),  $E$  es el esfuerzo de pesca, y las  $x$ 's son factores medioambientales.

Los datos de captura total de peces pelágicos menores (y de sardina monterrey en particular) y esfuerzo de pesca fueron obtenidos de la Oficina Federal de Pesca de la CONAPESCA en Guaymas, Sonora.

Los datos de la temperatura superficial del mar fueron obtenidos de la estación mareográfica de Guaymas (perteneciente al Instituto de Geofísica de la UNAM), los datos de vientos diarios, con los cuales se estimaron el índice de surgencia (Bakun 1973, Lluch-Cota *et al.* 1999) y la turbulencia (viento al cubo,  $V^3$ ), fueron obtenidos de la estación meteorológica de Guaymas - Empalme, perteneciente a la CNA. Promedios mensuales fueron obtenidos para cada una estas variables ambientales. Enseguida se obtuvieron los promedios anuales para la temperatura superficial del mar, la cual se plantea influye en la productividad de la población de sardina directamente afectando de manera no - lineal algunos aspectos biológicos (v.g., crecimiento y reclutamiento), así como la distribución de la población. También para el viento al cubo ( $V^3 \text{ m}^3/\text{s}^3$ ) se obtuvieron los promedios anuales; este es un índice grueso de la mezcla turbulenta en la capa superior del mar (Elsberry y Garwood 1978, Bakun y Parrish 1982). En el caso del índice de surgencia para la región costera continental del Golfo de California (Sonora) (Fig. 1), no obstante que también se estimó el promedio anual, se obtuvo el valor promedio correspondiente a la estación de desove, es decir, de octubre a abril (Nevárez-Martínez 1990).



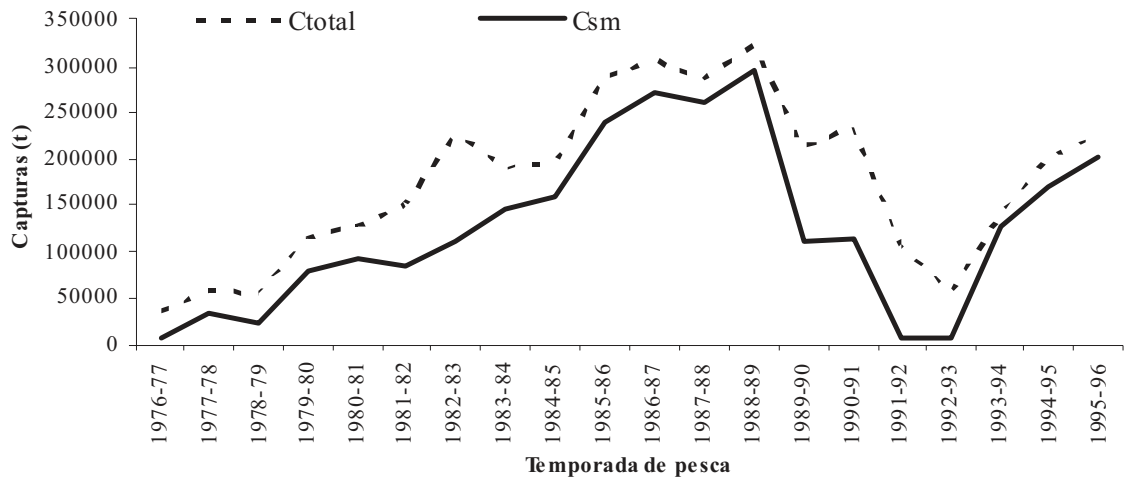
**Figura 1.** Golfo de California, México.

## RESULTADOS

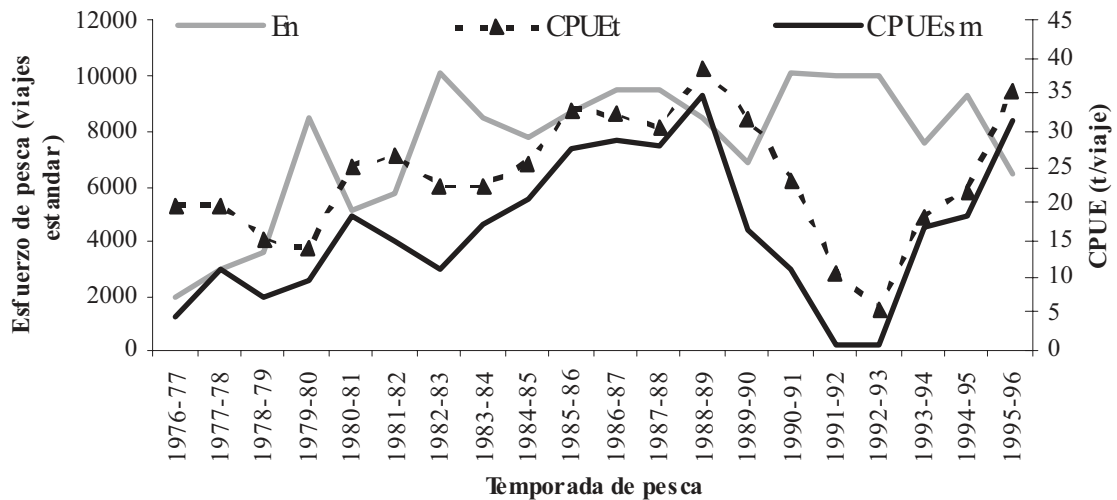
En la figura 2 y 3 se presentan las series históricas de los índices de productividad. En esta figura se puede observar la gran variabilidad interanual, así como su gran similitud en las dos series.

Las dos series tienden, desde 1977-78, hacia un valor máximo que se alcanza a finales de los años ochenta (1988-89; una captura de 292,000 t de sardina monterrey y una CPUE de 35 t/viaje) y posteriormente tienden a decrecer de manera muy abrupta, alcanzando valores mínimos entre 1991-92 y 1992-93; las capturas fueron inferiores a 8,000 t y la CPUE fue de menos de 1 t/viaje.

A partir de 1993-94 hay un incremento de un orden de magnitud en los índices de productividad, alcanzando la captura niveles por encima de las 120,000 y en 1995-96 fue de 200,000 t; un comportamiento similar se observó en la CPUE, aumentando en 1993-94 a 18 t/viaje y en 1995-96 de 31 t/viaje. El comportamiento del esfuerzo pesquero mostró una tendencia similar a la series de productividad, sin embargo, el esfuerzo disminuyó solo un poco (menos de 20%) en las últimas tres temporadas de pesca, después de oscilar entre los 8,000 y 10,000 viajes de pesca estándar (Fig. 2 y 3).

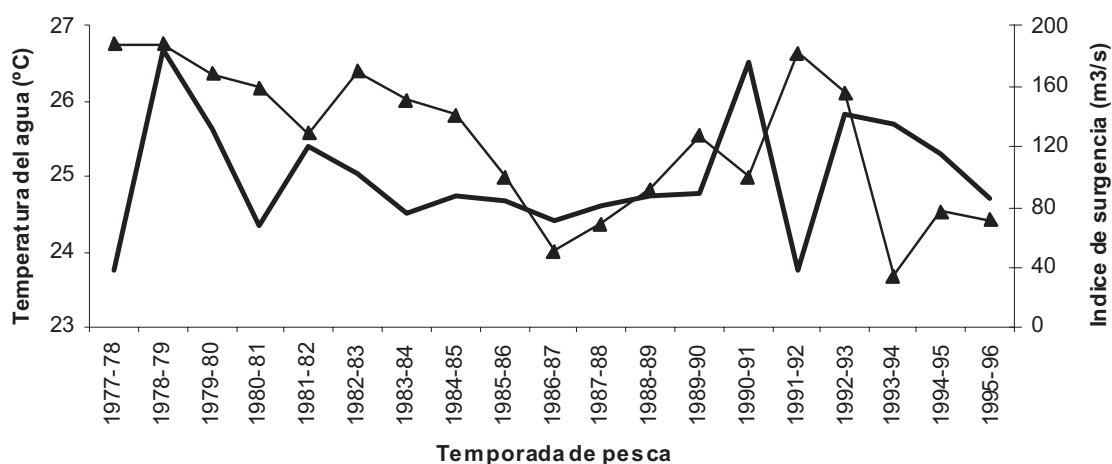


**Figura 2.** Serie histórica de capturas totales de pelágicos menores (Ctotal) y de sardina monterrey (Csm) en el Golfo de California, México.



**Figura 3.** Serie histórica de esfuerzo de pesca (viajes), CPUE total (CPUEt) y CPUE de sardina monterrey (CPUEsm) en el Golfo de California, México.

Las series de temperatura superficial del agua (SST) y del índice de surgencia (UI) se muestran en la figura 4. Estas series también muestran gran variabilidad interanual, con una tendencia descendente que, en el caso de SST alcanza valores mínimos en 1985-86, incrementándose de nuevo con el valor máximo en 1991-92, descendiendo de nuevo en las últimas tres temporadas. En el caso del UI este se mantiene en niveles de alrededor de 80-90 m<sup>3</sup>/s entre 1983-84 y 1989-90, observándose enseguida una gran variabilidad en este índice y en las últimas tres temporadas desciende hacia valores alrededor de 80 m<sup>3</sup>/s (Fig. 4).



**Figura 4.** Serie histórica de la temperatura superficial del mar (°C, línea con triángulos negros) y del índice de surgencia (m<sup>3</sup>/s, línea gruesa negra) en el Golfo de California, México.

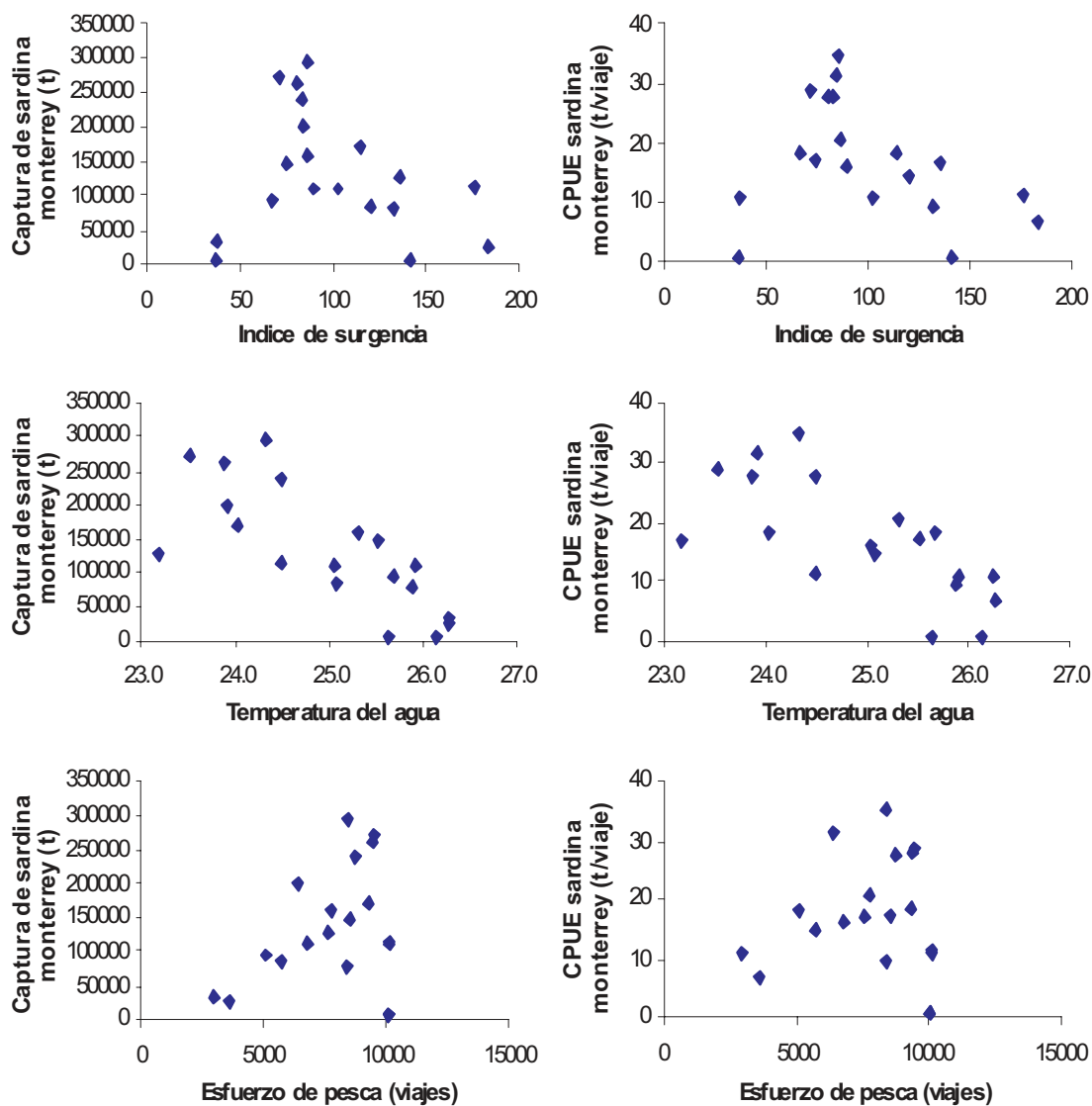
En las figuras 5a a 5f se muestran los diagramas de dispersión entre los índices de productividad y las tres variables predictoras utilizadas en los análisis aquí realizados. Queda de manifiesto la no linealidad de la relación entre la variable dependiente y las independientes.

También queda de manifiesto que para valores muy bajos o muy altos de estas variables predictoras, los índices de productividad observados fueron bajos. Los más altos valores de los índices de productividad se observaron para valores intermedios de las variables independientes, siendo mas obvio para el índice de surgencia y el esfuerzo de pesca (Figs. 5a,d y 5c,f). En el caso de la temperatura superficial del mar, los valores de los índices de productividad más alto se observaron sesgados hacia valores de temperatura entre 24.0 C y 24.5 C (Fig. 5b,e).

Como se menciona en Cury *et al.* (1995), ya que las transformaciones  $S()$  y  $T_i()$  son expectativas condicionales estimadas empíricamente utilizando algún suavizador, el algoritmo iterativo ACE al converger regresa un nuevo valor transformado para cada valor observado de  $Y$  o  $X_i$ . La forma de la transformación empírica óptima se obtuvo al graficar el



valor transformado de  $Y$  o  $X_i$  contra el valor original observado. Se realizaron diferentes combinaciones de variables ambientales y esfuerzo de pesca, encontrándose que la varianza explicada por los diferentes modelos varió entre menos del 50% y el 95%.

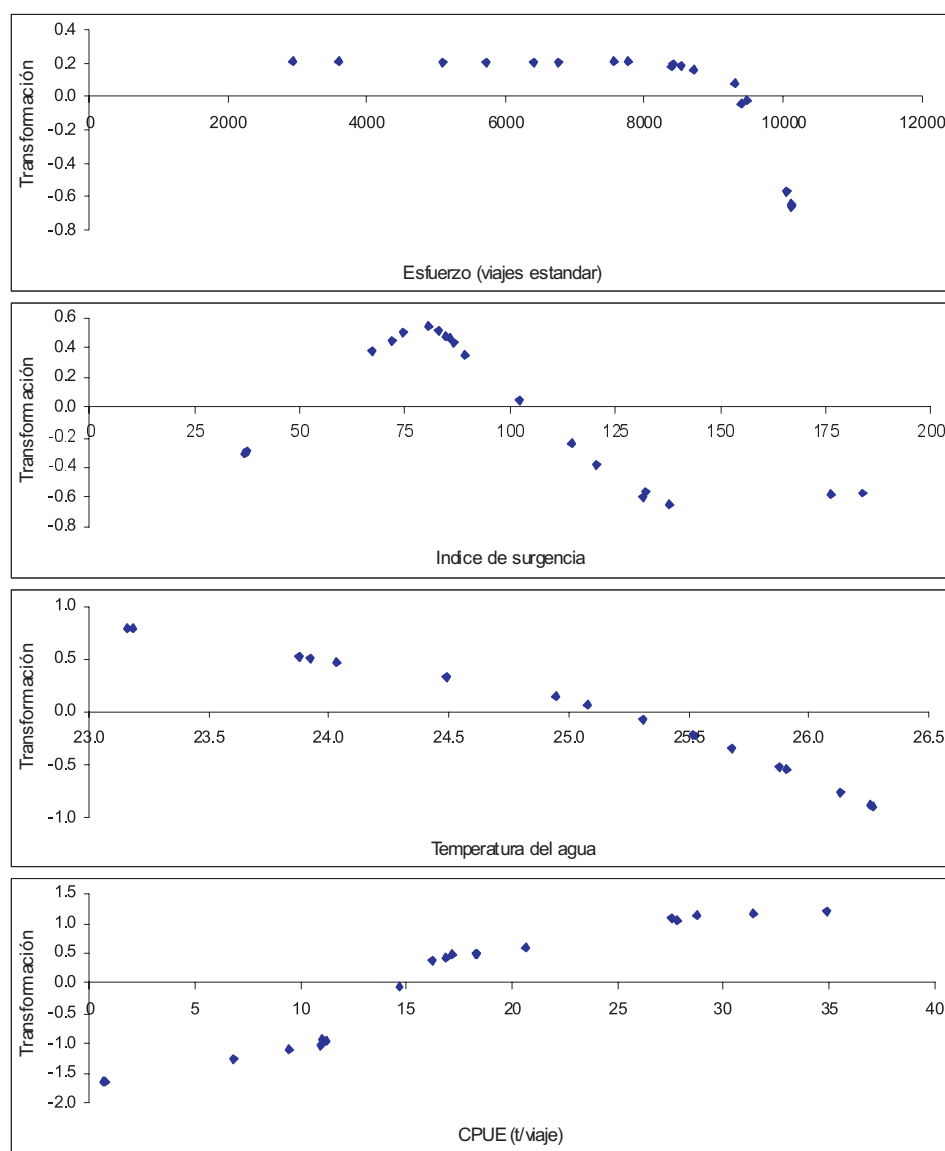


**Figura 5.** Diagramas de dispersión entre los índices de productividad (capturas y CPUE de sardina monterrey) y las tres variables predictoras del Golfo de California, México.

Los modelos que mayor cantidad de varianza explicaron fueron aquellos que consideraron a: 1) el esfuerzo de pesca, al índice de surgencia y la temperatura superficial del mar, 2) los

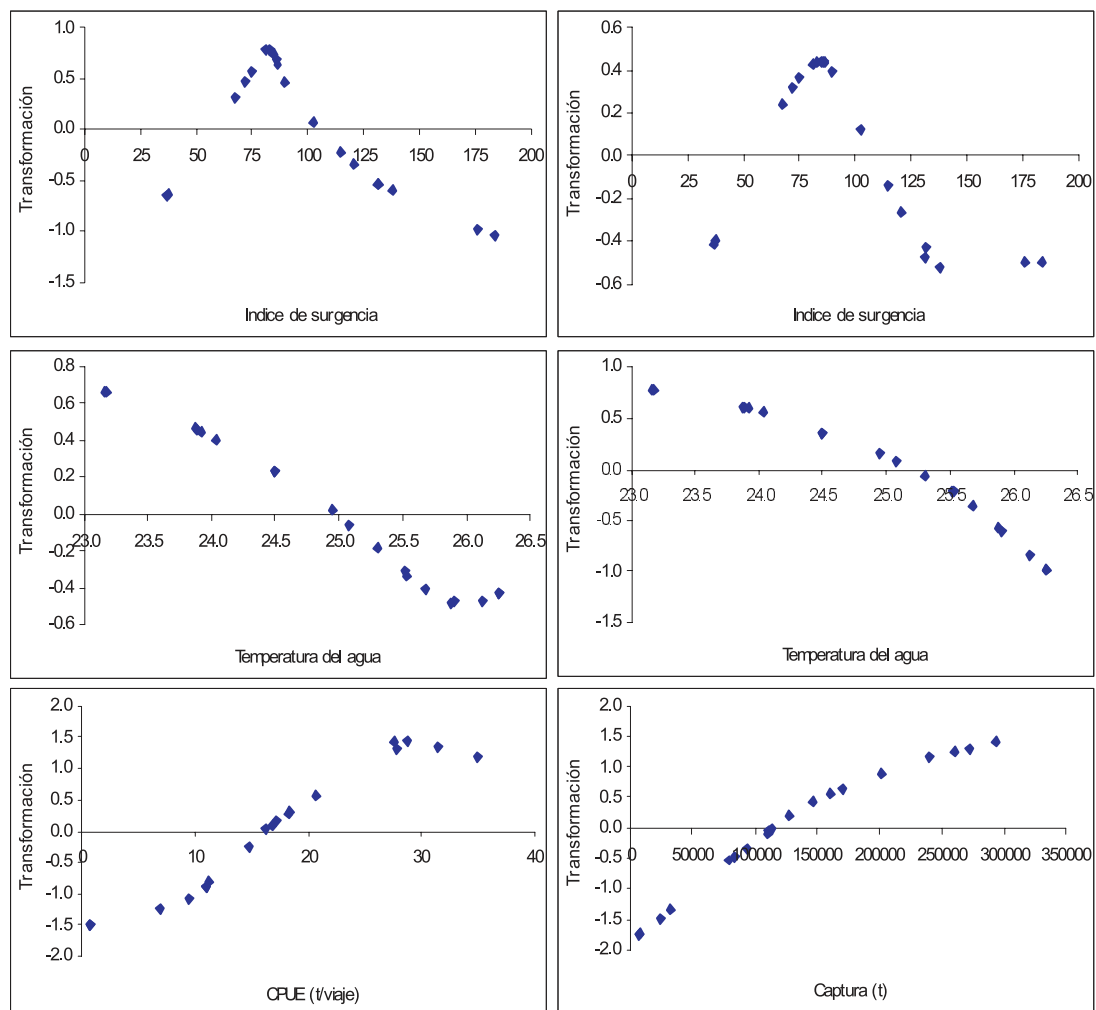
que incluyen a la dos variables ambientales (UI y SST), 3) un modelo que incluye al UI y al esfuerzo de pesca y 4) el modelo que incluye a la SST y al esfuerzo de pesca (Figs. 6 a 9).

En el primer caso (Fig. 6), se encontró que la transformación estimada para los índices de productividad se acercan o a una logarítmica (captura) y otra a una sigmoide (CPUE) en forma; en el caso del índice de surgencia la transformación estimada también fue en forma de domo con máximo aproximadamente en 80-85  $m^3/s$ ; y para la temperatura superficial del agua y el esfuerzo de pesca la transformación es parecida a una logarítmica negativa en forma (Fig. 6): la varianza explicada por estos modelos fue de 95% (para la CPUE) y de 87% (para la captura).



**Figura 6.** Transformaciones empíricas usando ACE. En este caso es para la relación entre CPUE y tres variables independientes (esfuerzo, temperatura y surgencias).

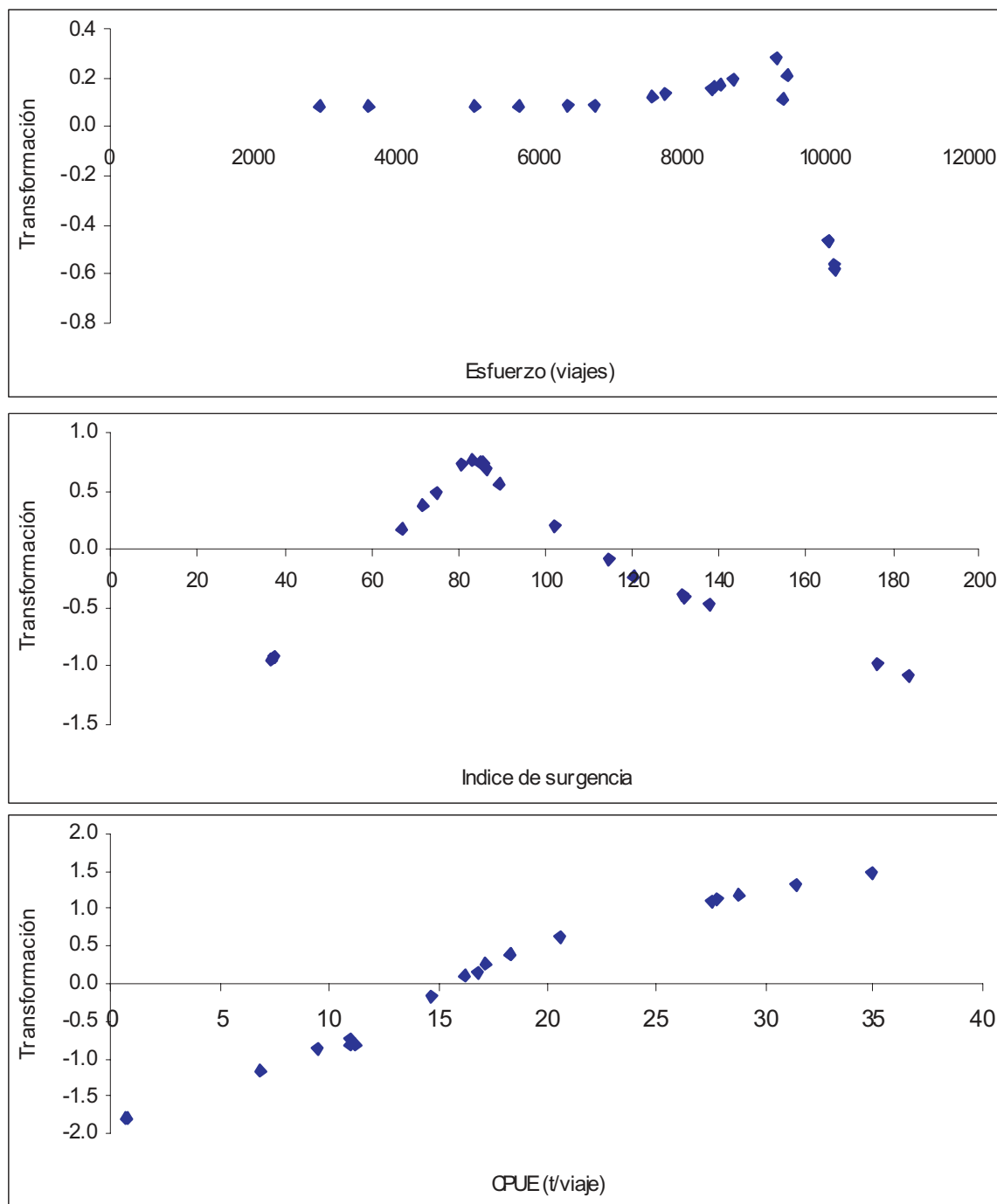
En el segundo caso (Fig. 7), la transformación estimada para los índices de productividad fueron muy similares al anterior en forma; en el caso del índice de surgencia la transformación también fue en forma de domo, igual que en el caso anterior, con un máximo alrededor de 80-85 m<sup>3</sup>/s; en el caso de la temperatura superficial del agua la transformación es parecida a una logarítmica negativa: la varianza explicada por estos modelos fue de 78% (para la captura) y 88% (para la CPUE) (Fig. 7).



**Figura 7.** Transformaciones empíricas usando ACE. En este caso es para la relación entre CPUE y la captura y dos variables independientes (temperatura y surgencias).

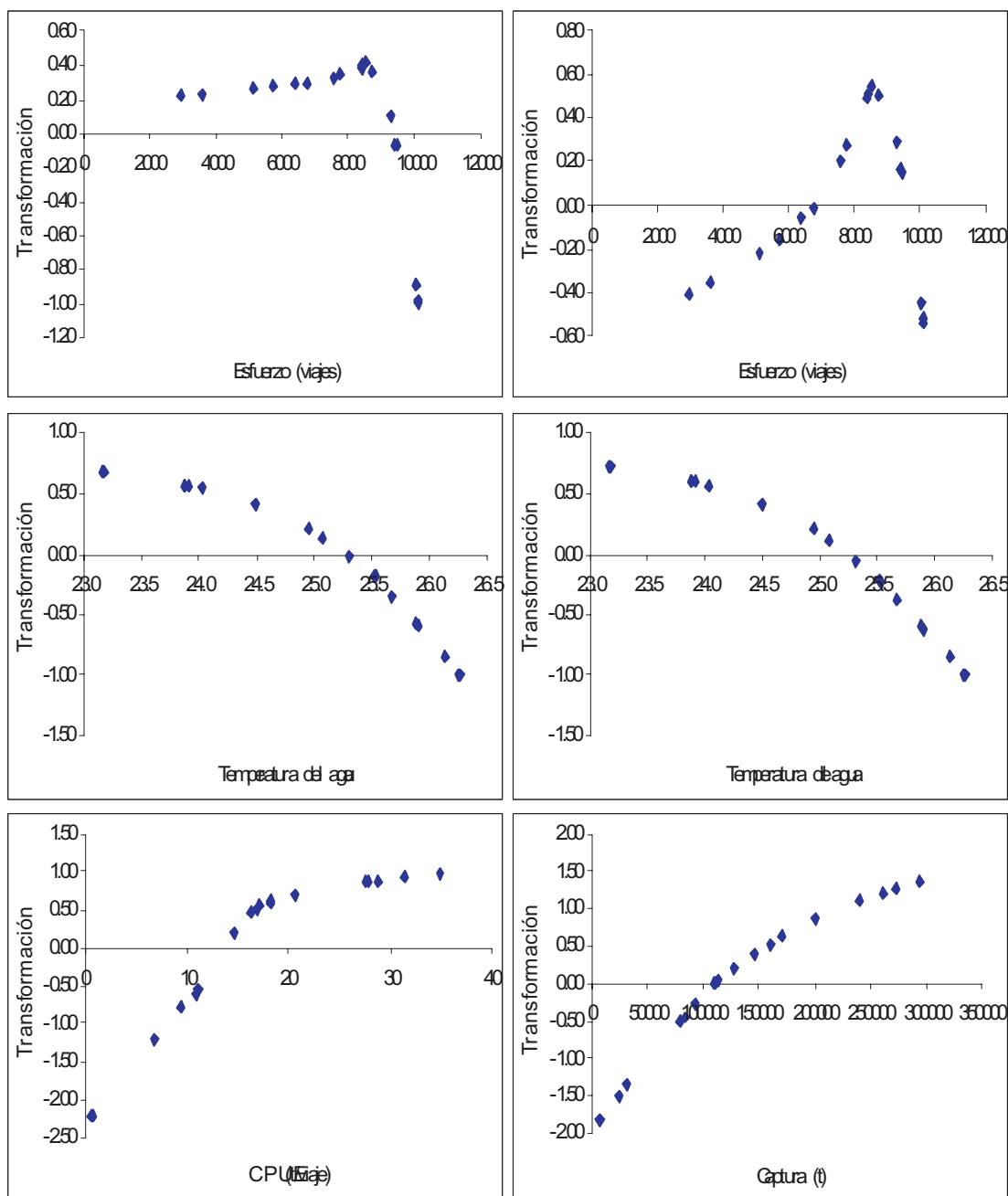
En la figura 8 se presentan los resultados de las transformaciones obtenidas para el tercer caso. En este la transformación obtenida para los índices de productividad fue similar a los dos casos anteriores; para el esfuerzo de pesca y el índice de surgencia las transformaciones fueron en forma de domo, con un máximo de aproximadamente 9,300 viajes estándar en el

caso del esfuerzo y de alrededor de  $85 \text{ m}^3/\text{s}^3$  para las surgencias. Estos modelos explicaron el 76% y el 79% de la varianza de los índices de productividad (Fig. 8).



**Figura 8.** Transformaciones empíricas usando ACE. En este caso es para la relación entre CPUE y dos variables independientes (esfuerzo y surgencias).

En el último caso (Fig. 9), la varianza explicada por los modelos fue de aproximadamente 72% y 75%. En este caso, las transformaciones obtenidas fueron, para los índices de productividad, semejantes a una logarítmica en forma. Para el esfuerzo de pesca las transformaciones fueron en forma de domo, con los máximos entre 8,400 y 8,500 viajes estándar; para la temperatura superficial del agua la transformación es logarítmica negativa en forma (Fig. 9).



**Figura 9.** Transformaciones empíricas usando ACE. En este caso es para la relación entre CPUE y la captura y dos variables independientes (temperatura y esfuerzo de pesca).

Con base a los resultados obtenidos con el ACE, se realizaron análisis de regresión múltiple no-lineal con las variables originales (no transformadas), con el fin de encontrar un modelo predictivo para los índices de productividad. En este caso se probaron diferentes modelos que incluyeron tanto al esfuerzo de pesca y a una o más variables medioambientales o sólo variables ambientales.

De todos los modelos con los que se trabajó los que explicaron la mayor cantidad de varianza fueron tres: 1) el que incluyó a la captura como índice de productividad (variable a predecir) y como variables predictoras al índice de surgencia y a la temperatura superficial del mar (83.5% de varianza explicada); 2) incluyó a esas mismas dos variables ambientales como predictoras y la CPUE como índice de productividad (77.1% de varianza explicada); y 3) incluyó al esfuerzo de pesca y a la temperatura superficial del agua como variables independientes y a la captura como variable dependiente, explicando el 67% de la varianza observada en el índice de productividad. Los modelos ajustados se presentan en la Tabla I.

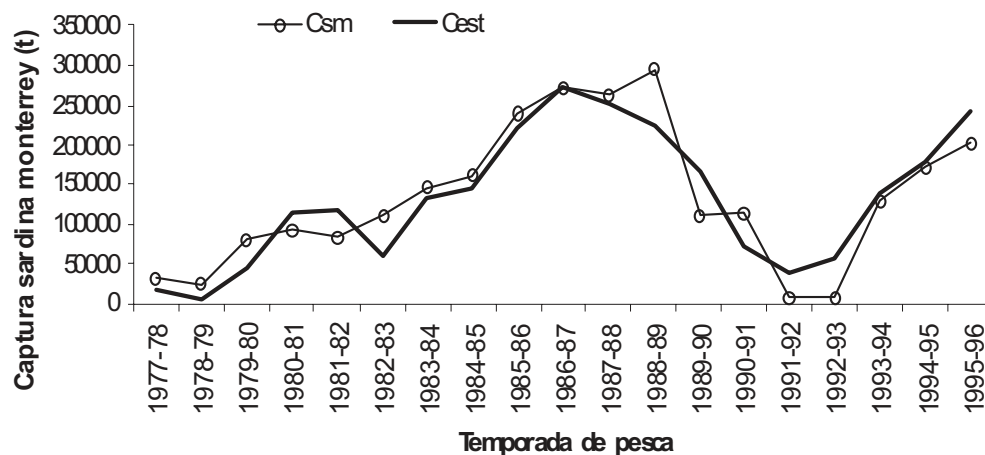
**Tabla I.** Modelos de regresión múltiple no lineal ajustados a los datos originales para explicar la variabilidad de la captura de sardina monterrey (Csm) y de la captura por unidad de esfuerzo de la sardina monterrey (CPUEsm), como una función del esfuerzo de pesca En, de la temperatura superficial del agua de mar (Ta) y del índice de surgencia costero (ISoa), con base al comportamiento observado en las transformaciones con el ACE y los diagramas de dispersión. Se presentan los tres modelos que explicaron la mayor cantidad de varianza. La notación *normal* se refiere a la función normal o de Gauss, con los valores indicando la media y la desviación estándar, respectivamente.

Modelos ajustados	R <sup>2</sup> (%)
$Csm = (2.755427 * ISoa * EXP^{(ISoa * -0.020013)}) * (-385765.0 + 33339.68 * Ta - 709.684 * Ta^2)$	83.48
$CPUEsm = (0.000228 * ISoa * EXP^{(ISoa * -0.018741)}) * (187.577 + 2559.372 * Ta - 94.6504 * Ta^2)$	77.06
$Csm = (63969.83 * normal(En, 8500, 2412.336)) * (63993.52 * normal(Ta, 23.9, 1.0))$	67.00

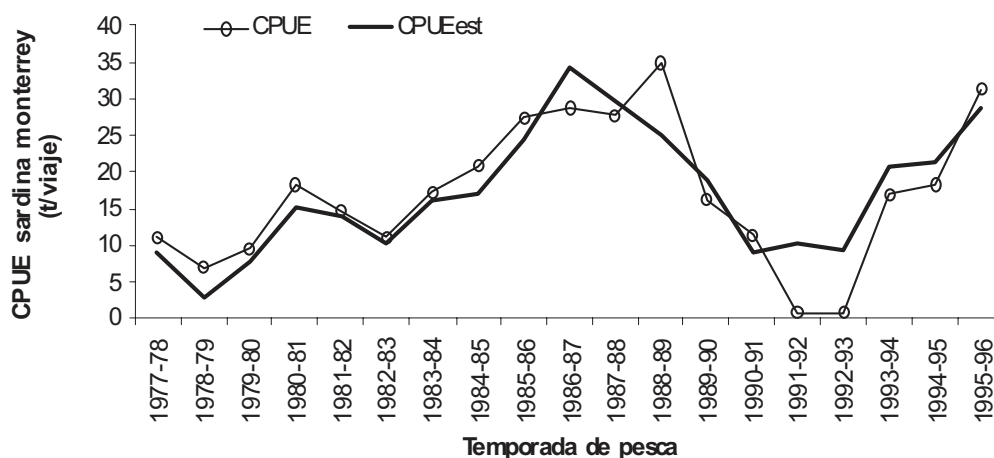
Las curvas de las series de los índices de productividad observados y las predichas por los modelos se muestran en la figura 10. Es de llamar la atención que los tres predicen el valor más bajo en la serie de los índices de productividad para la temporada 1991/92, mientras que



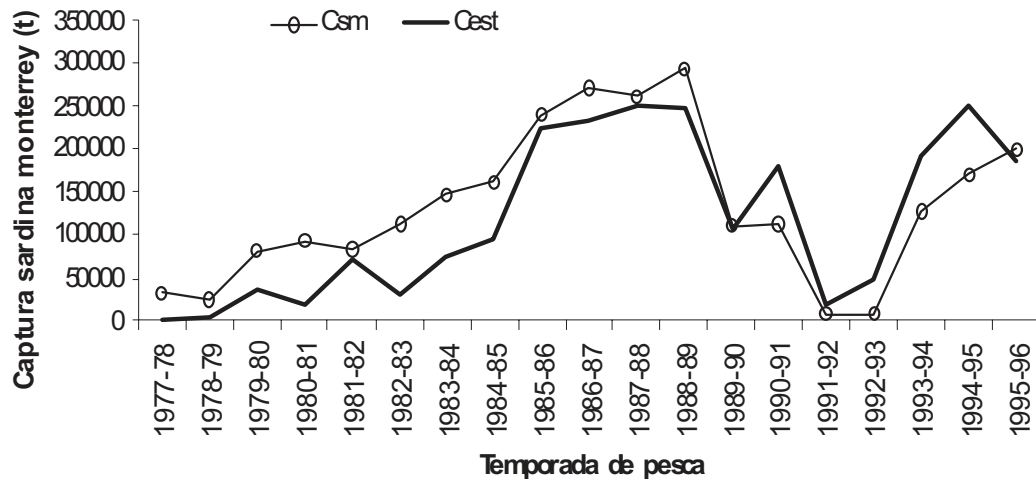
la serie observada tiene localizado también valores mínimos en la temporada 1992/93, aunque en general los tres modelos siguen la tendencia histórica observada (Fig. 10 a 12). Por otro lado, la serie estimada con el tercer modelo (Fig. 12), tiende a subestimar de manera importante el índice de productividad (captura) en las primeras ocho temporadas.



**Figura 10.** Serie histórica de captura de sardina monterrey del Golfo de California y la captura predicha por el modelo que incluye a la temperatura del agua y el índice de surgencia como variables predictivas.



**Figura 11.** Serie histórica de CPUE de sardina monterrey del Golfo de California y la CPUE predicha por el modelo que incluye a la temperatura y el índice de surgencia como variables predictivas.



**Figura 12.** Serie histórica de captura de sardina monterrey del Golfo de California y la captura predicha por el modelo que incluye a la temperatura del agua y al esfuerzo de pesca como variables predictivas.

## DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de algunos parámetros ambientales y la captura y la CPUE (como un Proxy de la abundancia relativa) de la sardina monterrey para el período de 1977 a 1996 sugieren que las grandes fluctuaciones observadas en la población y la pesquería de sardina en este periodo fueron iniciadas por una disminución en los niveles de surgencia y a valores de temperatura altos en la zona central del Golfo de California, lo cual pudo haber ocasionado una coincidente disminución en la producción primaria en las principales áreas de crianza, crecimiento y desove de la sardina monterrey. Esto último, concuerda con lo encontrado por Thunell (1998), quien muestra que las diatomeas, el grupo dominante en la cuenca de Guaymas y uno de los componentes principales de la dieta de la sardina monterrey (López-Martínez 1991 y com. personal), disminuyeron para el periodo de 1990 a mediados de 1993 y posteriormente se incrementó, aproximadamente, al doble. La fuerte declinación (1990-1993) y posterior incremento (1994-1996) de la población de sardina monterrey del Golfo de California es el reflejo del efecto combinado de las surgencias y la temperatura, y éstos, a su vez, de los cambios interanuales de las condiciones climáticas e hidrográficas imperantes en el Golfo Central.

Los mecanismos que controlan el éxito del reclutamiento son complejos y no del todo entendidos, dependiendo de procesos físicos y biológicos que tienen lugar sobre diferentes escalas de tiempo y espacio en el ecosistema pelágico (Bakun 1996, Daskalov 1999), los cuales pueden ejercer efectos contrarios sobre la producción de huevos y larvas y sobre el crecimiento y la supervivencia en todos los estadios de vida de los organismos en una población. Daskalov (1999) menciona que la ausencia de relación significativa de un factor dado no necesariamente significa inexistencia de afecto de ese factor, ya que por el contrario

tal factor podría ejercer una multitud de efectos que tenderían a operar a lo largo de toda la cadena causal que lleva a los reclutamientos resultantes. En otros casos, podría pasar que uno o unos pocos efectos son claramente abrumadores y responsables de las tendencias en los datos (Daskalov 1999). Los patrones de los efectos de las variables ambientales consideradas en este trabajo, en general, se asemejan a lo encontrado en otros estudios (Cury y Roy 1989, Cury *et al.* 1995, Daskalov 1999, Lluch-Cota *et al.* 1999). El índice de surgencia, la turbulencia y la temperatura superficial del mar mostraron efectos en forma de domo, lo cual podría ser interpretado en términos del concepto de la "ventana medioambiental óptima" (Cury y Roy 1989, Cury *et al.* 1995). Esta hipótesis, que se formuló para explicar el éxito del reclutamiento en los sistemas de surgencia de frontera este, plantea que el forzamiento por viento puede resultar en un espectro de condiciones que afectan la producción del océano: efectos positivos a través de las surgencias y el enriquecimiento de nutrientes y efectos negativos a través de la advección de huevos y larvas y disturbios de "parches de plancton" por una muy alta turbulencia. Aunque con respecto a esto último se ha planteado (Rothschild y Osborn 1988) que una alta turbulencia favoreció la tasa de contacto en los parches de plancton, teniendo así una influencia positiva sobre la producción y el crecimiento y la supervivencia de larvas de peces (Daskalov 1999). Así pues, el sistema biológico tiende a responder a un rango de condiciones medioambientales de manera no-lineal en forma de domo, indicando que existen valores óptimos de esas variables para las cuales el reclutamiento es óptimo. Finalmente, el mejorar nuestro conocimiento sobre las interacciones biológico-ambientales promoverá la identificación de índices medioambientales confiables y su integración en modelos de evaluación de stocks y nuestra habilidad para manejar recursos pesqueros altamente variables como lo son los pelágicos menores.

Con respecto al modelo que intenta explicar la dinámica de la captura y la CPUE de sardina monterrey en el Golfo de California, los resultados son bastante alentadores, no obstante las subestimaciones (o sobrestimaciones) observadas para algunas temporadas de pesca. Una de las probables explicaciones es que en el modelo se incluyen variables ambientales, que como se observa en los resultados, también presentan una alta variabilidad. Este tipo de datos normalmente se toman varias veces al día y abarcan en promedio el 80-85% de los días que componen un mes en particular. No obstante que fueron sometidos a un proceso de corrección utilizando información de temperatura superficial del agua obtenida por personal del CRIP de Guaymas, es probable que aún persista cierto grado de sesgo en la temperatura de algunos años. No obstante lo anterior, el modelo es capaz de seguir el comportamiento histórico de la captura y de la población con suficiente exactitud, como para esperar que su potencial como modelo predictivo nos de una idea bastante clara del comportamiento futuro de las capturas en el corto plazo. Al respecto, Nevárez-Martínez *et al.* (1998) modelaron la dinámica de la población de sardina utilizando un modelo estructurado por edades acoplado con una función de reclutamiento obtenida para la sardina monterrey, con datos de 1974/75 a 1986/87 (Cisneros-Mata *et al.* 1995), de tal manera que el modelo considera factores denso-dependientes y la estructura de edad de la población (Cisneros-Mata *et al.* 1996), pero no consideró el forzamiento medioambiental de manera explícita, sino a través de un generador de variabilidad estocástica (Nevárez-Martínez *et al.* 1999). Ese modelo no fue capaz de predecir la variabilidad de corto plazo, por ejemplo la caída y recuperación de la pesquería entre 1990 y 1996, mientras que el modelo aquí construido sí es capaz de reconstruir el comportamiento de la población (CPUE como proxy) y su pesquería, muy probablemente por que en éste sí se

consideran de manera explícita algunas variables ambientales que se plantean son muy importantes en definir la dinámica de la población de sardina monterrey del Golfo de California y su pesquería.

## REFERENCIAS

- Bakun, A. 1973. Coastal upwelling indices, West Coast of North America 1946-71. U.S. Dep. Comm., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671, 103 p.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean: ocean process and marine population dynamics. Univ. Calif. Sea Grant, San Diego, en cooperación con CIBNOR, La Paz, B.C.S., México. 323 pp.
- Bakun, A. y R.H. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru current systems. CalCOFI Rep. 23: 99-112.
- Breiman, L. y J.H. Friedman. 1985. Estimating optimal transformations for multiple regression and correlation. J. Am. Stat. Assoc. 80(391): 580-598.
- Cisneros-Mata, M. A., G. Montemayor-López y M. O. Nevárez-Martínez. 1996. Modeling deterministic effects of age structure, density dependence, environmental forcing, and fishing on the population dynamics of *Sardinops sagax caeruleus* in the Gulf of California. CalCOFI Rep. 37: 201-208.
- Cisneros-Mata, M. A., M. O. Nevárez-Martínez y G. Hammann. 1995. The raise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, México. CalCOFI Rep. 36: 136-143
- Crecco, V., T. Savoy y W. Whitworth. 1986. Effects of density-dependent and climatic factors on American shad, *Alosa sapidissima*, recruitment: a predictive approach. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 457-463.
- Cury, P. y C. Roy (eds.). 1991. Pecheries Ouest Africaines. Variabilité, Inestabilité et Changement. Paris; ORSTOM: 525 p.
- Cury, P. y C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46: 670-680.
- Cury, P., C. Roy y V. Faure. 1998. Environmental constraints and pelagic fisheries in upwellings areas: The peruvian puzzle. S. Afr. J. Mar. Sci. 19: 159-167
- Cury, P., C. Roy, R. Mendelsshon, A. Bakun, D.M. Husby y R.H. Parrish. 1995. Moderate is better: nonlinear climatic affects on Californian Anchovy. In: Climate change and the Northern fish populations, R.J. Beamish, (ed.). Can Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 121: 417-424.
- Daskalov, G. 1999. Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models. Fisheries Research 41 (1): 1-23.
- Daskalov, G. y K. Prodanov. 1997. Marine environmental conditions and fishery productivity in the Black Sea. In: Global versus Local Changes in upwelling Systems.

- Durand, M.H., P. Cury, R. Mendelsohn, C. Roy, A. Bakun y D. Pauly (eds.). Paris; ORSTOM: 249-265.
- Elsberry, R.L. y R.W. Garwood. 1978. Sea surface temperature anomaly generation in relation to atmospheric storms. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 59(7): 786-789.
- F.A.O. 1997. Yearbook of fisheries statistics. Catches and landings, 1995. FAO Fish. Ser. 80:713 p.
- Faure, V. y P. Cury. 1997. Pelagic fisheries and environmental constraints in upwelling areas: how much is possible?. *In: Global versus Local Changes in upwelling Systems.* Durand, M.H., P. Cury, R. Mendelsohn, C. Roy, A. Bakun y D. Pauly (eds.). Paris; ORSTOM: 391-407.
- Hastie, T.J. y R.J. Tibshirani (eds.) 1990. *Generalized Additive Models.* London; Chapman & Hall. 335 pp.
- Kawasaki, T. 1992. Climate-dependent fluctuations in the Far Eastern sardine population and their impacts in the fishery and society. 325-354 pp. *In: Climate Variability, Climate Change and Fisheries.* Glantz, M.H. (ed.), Cambridge, University Press.
- Lluch Belda, D. et al. 1995. Estado actual de la pesquería de sardina y anchoveta. Tomo III. Peces. *In: Pesquerías relevantes de México.* SePesca, Instituto Nacional de la Pesca. México, D.F. Versión en disco compacto.
- Lluch-Belda, D., R. A. Schwartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D. Hedgecock, y J. M. Crawford. 1992. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. *Fish. Oceanogr.* 1(4): 339-347.
- Lluch-Cota, S.E., D.B. Lluch-Cota, D. Lluch-Belda, M.O. Nevárez-Martínez, A. Parés-Sierra y S. Hernández-Vázquez. 1999. Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration, and retention processes in the central Gulf of California. *CALCOFI Rep.* 40: 184-190.
- López-Martínez, J. 1991. Alimentación de juveniles y adultos de sardina monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*) en la parte norte del Golfo de California durante el invierno de 1990. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, B.C. 120 p.
- Mendelsohn, R. 1989. Reanalysis of recruitment estimates of the Peruvian anchoveta in relationship to other population parameters and the surrounding environment. pp. 364-385. *In: D. Pauly, P. Muck, J. Mendo y I. Tsukayama (eds.) The Peruvian Upwelling Ecosystem: Dynamics and Interactions.* ICLARM Conference Proceedings.
- Nevárez-Martínez, M., D. Lluch-Belda, M.A. Cisneros-Mata, J. Santos-Molina, M.A. Martínez-Zavala, y S. Lluch-Cota. 2001. Distribution and abundance of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California and their relation with the environment. *Prog. Oceanogr.* 49: 565-580.
- Nevárez-Martínez, M.O. 1990. Producción de huevos de la sardina monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*) en el Golfo de California: una evaluación y crítica. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, B.C., México. 144 pp.
- Nevárez-Martínez, M.O., E.A. Chávez, M.A. Cisneros-Mata, y D. Lluch-Belda. 1999. Modelling of the Pacific sardine *Sardinops caeruleus* fishery of the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.* 41: 273-283.

- Nevárez-Martínez, M.O., M.A. Cisneros-Mata, M.A. Martínez-Zavala y J.P. Santos-Molina. 1998. Aplicación de dos métodos para determinar el rendimiento óptimo de la sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*) del Golfo de California: el uso de información auxiliar. *Oceanides* 13(1): 31-39.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 191: 382 p.
- Rothschild, B.J. y T.R. Osborn. 1988. Small-scale turbulence and plankton contact rates. *J. Plankton R.* 10: 465-474.
- Schwartzlose, R.A., J. Alheit, A. Bakun, T.R. Baumgartner, R. Cloete, R.J.M. Crawford, W.J. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, A.D. Mccall, Y. Matura, M. O. Nevárez-Martínez, R. Parrish, C. Roy, R. Serra, K.V. Shust, M.N. Ward y J.S. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 21: 289-347.
- Thunell, R. 1998. Continental margin particle flux. Seasonal cycles and archives of Global Change. *Oceanus* 40(2): 20-23.
- Tyler, A.V. 1992. A context for recruitment correlations: why marine fisheries biologist should still look for them. *Fisheries Oceanography*, 1(1):97-107.



