

Los efectos del fenómeno

# El Niño

en México  
1997-1998

Compiladores

**Elva Escobar Briones**  
**Marcial Bonilla**  
**Antonio Badán**  
**Margarita Caballero**  
**Alain Winckell**



CONACYT

---

**Los efectos del fenómeno**  
**El Niño**  
**en México**  
**1997-1998**

---

**Los efectos del fenómeno**  
**El Niño**  
**en México**  
**1997-1998**

Compiladores

Elva Escobar Briones

Marcial Bonilla

Antonio Badán

Margarita Caballero

Alain Winckell



CONACYT

## Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Director General  
Jaime Parada Ávila

Director Adjunto de Investigación Científica  
Alfonso Serrano Pérez Grovas

Director Adjunto de Modernización Tecnológica  
Guillermo Aguirre Esponda

Director Adjunto de Desarrollo Científico y Tecnológico Regional  
Manuel Méndez Nonell

Director Adjunto de Coordinación del Sistema SEP-Conacyt  
Felipe Rubio Castillo

Director Adjunto de Política Científica y Tecnológica  
Gildardo Villalobos García

Directora Adjunta de Asuntos Internacionales y Becas  
Margarita Noguera Farfán

Director Adjunto de Administración y Finanzas  
Gabriel Soto Fernández

Director de Asuntos Jurídicos  
Alejandro Romero Gudiño

Director de Comunicación Científica y Tecnológica  
Armando Reyes Velarde

*Los efectos del fenómeno El Niño en México 1997-1998*  
1a. edición, octubre de 2001  
© 2001, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



**CONACYT**

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología  
Av. Constituyentes 1046  
Col. Lomas Altas  
11950, México, D.F.

Impreso en México, *Printed in Mexico*

---

## CONTENIDO

Prólogo	9
I. Las causas del fenómeno clima-océano	15
El fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) y sus impactos en México Víctor O. Magaña <i>et al.</i>	17
Las imágenes de satélite ayudaron a evaluar los efectos de El Niño/Oscilación del Sur en el Pacífico mexicano, en el periodo 1997-1998 Román Álvarez <i>et al.</i>	25
Resultados preliminares del monitoreo de El Niño 1997-1998 en el Océano Pacífico en la costa occidental de México Anatolyi Filonov e Irina Tereshchenko	35
Investigación sobre la manifestación de la señal de El Niño en el occidente de México Irina Tereshchenko <i>et al.</i>	40
Derrames pluviales costeros en el Golfo de California y su posible detección mediante imágenes de color del océano (SeaWiFS) Helmut Maske	45
El Niño en el Golfo de California Miguel Ángel Alatorre Mendieta	50
II. El registro histórico y la predicción	55
¿Pueden los árboles contar la historia de la precipitación y del fenómeno El Niño? Nora Martijena	57
Análisis y pronóstico de la ocurrencia del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) y de sus posibles impactos en México Jorge Sánchez Sesma	62

III. Disponibilidad de agua y sequía	69
Análisis espacial de los efectos de El Niño 1997-1998 en Tijuana, B.C. Alain Winckell <i>et al.</i>	71 ✓ 0100 659/12
Impacto ambiental del fenómeno El Niño sobre la presa El Cuchillo, como principal fuente abastecedora de agua de la Zona Metropolitana de Monterrey Juan M. Alfaro B., <i>et al.</i>	84
El Niño y su influencia en áreas urbanas, el caso del norte de Sonora, México Juan M. Rodríguez Esteves <i>et al.</i>	89
Efectos del fenómeno El Niño en Alchichica, Puebla, México, un lago tropical profundo Javier Alcocer y Alfonso Lugo	96
IV. La producción pesquera y agrícola nacionales	103
El trigo en el norte de México y El Niño 1997-1998 C.A. Salinas Zavala	105
Efecto de El Niño en la producción de camarón Adolfo Gracia Gasca	112
Efecto del evento El Niño 1997-1998 sobre la pesquería artesanal en la costa de Jalisco, México Bernabé Aguilar Palomino <i>et al.</i>	120
El Niño 1997-1998 y sus efectos sobre los grandes volúmenes de la lechuga de mar del Golfo de California I. Pacheco Ruiz <i>et al.</i>	127
El Niño en las comunidades de peces marinos de las montañas submarinas del sur del Golfo de California Arturo Muhlia Melo	131
V. La salud humana	135
Investigación psicológica y cambios climáticos Benjamín Domínguez Trejo <i>et al.</i>	137
El impacto del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) y su relación con las mareas rojas en México José Luis Ochoa y Salvador Lluch Cota	143

El Niño 1997-1998. Impacto en la biomasa de dinoflagelados en Bahía Concepción, Golfo de California Ismael Gárate Lizárraga <i>et al.</i>	153
VI. La diversidad biológica como indicador	163
Efecto de la disponibilidad de nutrimentos sobre el reclutamiento y supervivencia de <i>Macrocystis pyrifera</i> en Baja California Sur, México, durante el fenómeno El Niño 1997-1998 Gustavo Hernández Carmona <i>et al.</i>	165
El blanqueamiento de coral y el fenómeno El Niño Roberto Iglesias Prieto y Héctor Reyes Bonilla	172
El niño y el mar Bertha E. Lavaniegos <i>et al.</i>	181
El evento El Niño 1997-1998 y su impacto sobre el zooplancton en Bahía Magdalena, B.C.S. Ricardo Palomares García <i>et al.</i>	192
La reproducción del bobo patas azules como indicador de la abundancia de peces Juan Meraz y Hugh Drummond	199
Efectos de El Niño (1997-1998) y La Niña (1998-1999) en las ballenas grises de laguna San Ignacio, B.C.S. Jorge Urbán R., y Alejandro Gómez Gallardo U.	206
Análisis de la variación de la población de mamíferos pequeños, como respuesta a los cambios de la vegetación por el efecto de El Niño en una zona semiárida Sergio Ticul Álvarez Castañeda y Patricia Cortés Calva	216
Posibles efectos del fenómeno El Niño en las comunidades de poliquetos que habitan el fondo marino de la laguna de San Quintín, Baja California Victoria Díaz Castañeda	223
Efectos del fenómeno El Niño sobre organismos bentónicos de Baja California Sergio A. Guzmán del Prío <i>et al.</i>	231
Efecto a distancia del fenómeno El Niño Elva Escobar Briones	240



---

## PRÓLOGO

**E**l volumen de divulgación sobre los efectos del fenómeno El Niño 1997-1998 es resultado del financiamiento especial otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) en respuesta a la convocatoria del otoño de 1997 para estudiar este evento en México. Libro único en su género, que refleja la madurez del Consejo al convocar a la realización de este tipo de estudios, así como de la comunidad científica y de las instituciones nacionales de investigación científica y humanística. Los trabajos recopilados en este volumen representan más del 50% de los que fueron apoyados por este programa de financiamiento especial, y son consecuencia del compromiso adquirido en el foro convocado por el Conacyt, y del comité *ad hoc* que mostró los resultados obtenidos en las investigaciones multiinstitucionales y multidisciplinarias, en junio del 2000. Como respuesta a la convocatoria, el Conacyt recibió un centenar de propuestas, de las cuales 52 fueron apoyadas. El recurso que se dedicó a este programa fue de \$ 6 572 102 pesos. La evaluación de las solicitudes estuvo a cargo de un comité *ad hoc* en el que participaron investigadores nacionales e internacionales. Dentro del marco de la convocatoria de El Niño, se consideró la realización de un simposio para presentar los resultados del programa, el cual se llevó a efecto en la ciudad de México del 17 al 19 de mayo del 2000, y como producto de este simposio se acordó hacer una publicación que divulgara los resultados de los proyectos apoyados.

Este volumen de divulgación sobre los efectos del fenómeno El Niño 1997-1998 en México presenta en seis capítulos una síntesis contemporánea acerca del conocimiento del efecto de dicho fenómeno climático, a partir de resultados obtenidos por diversas disciplinas de la ciencia y de las humanidades en México. El documento, redac-

tado en forma sencilla, va dirigido a estudiantes de bachillerato, de licenciatura, y al público en general.

El primer capítulo, sobre las causas del fenómeno clima-océano, agrupa seis contribuciones con una visión del acoplamiento clima-océano, las dos primeras de alcance general. En la primera de ellas, el doctor Víctor Magaña y colaboradores analizan la secuencia de los cambios meteorológicos en los que se gesta el fenómeno El Niño y su arribo al territorio nacional, haciendo un recuento de impactos en diversos sectores productivos de México. La contribución del doctor Álvarez Béjar y colaboradores muestra el gran potencial de la tecnología satelital para la detección temprana de dicho fenómeno y su seguimiento en el territorio nacional. Al ser el Océano Pacífico la región prioritaria de impacto en la fase caliente del evento El Niño, cuatro contribuciones se abocan a analizar los efectos regionales, en los que se combinan registros de bases de datos históricos con los de tiempo real, tanto climáticos como de temperatura superficial del mar, obtenidos mediante campañas oceanográficas frente a Jalisco (Filonov y Tereshchenko) y en la boca del Golfo de California (Alatorre Mendieta), así como su incidencia, registrada en imágenes satelitales (Maske), que confirman la interacción de la superficie del mar y la atmósfera. El trabajo de Tereshchenko y colaboradores analiza el efecto de dicho fenómeno en otros cuerpos de agua epicontinental a lo largo de la costa occidental de México.

El segundo capítulo integra, en forma amena, los trabajos del registro histórico en tiempo geológico del fenómeno El Niño. La doctora Martijena, a partir de resultados obtenidos de los anillos de crecimiento en árboles, presenta los periodos de sequía y lluvias en Baja California, permitiendo un ejercicio de predicción de este evento a partir de su recurrencia, así como también el conocimiento predictivo actual, utilizando las herramientas y la tecnología disponibles. El trabajo del doctor Sánchez Sesma es de naturaleza teórica, y presenta la formulación de ecuaciones predictivas con base en análisis espectrales que pueden ser empleadas con datos disponibles en series de tiempo largo para el territorio nacional.

La escasa disponibilidad de agua en México es un factor preocu-

pante para los sectores productivos agrícola y pesquero nacionales y para la economía del país, por lo que su persistencia, así como la extensión geográfica afectada por la sequía resulta ser un tema de interés en la investigación actual. Este tercer capítulo, denominado “Disponibilidad de agua y sequía”, muestra los resultados de cuatro trabajos que describen la variación de la distribución geográfica del agua en México y el efecto del fenómeno El Niño. Los primeros tres estudios proponen alcances de manejo al efecto en zonas urbanas limitadas en agua, como son las ciudades de Tijuana (Winckell y colaboradores), de Monterrey (Alfaro y colaboradores), y el estado de Sonora (Rodríguez y colaboradores). El trabajo de Alcocer y Lugo nos presenta, con datos en series de tiempo, el efecto del acoplamiento clima-precipitación en un lago cráter salino ubicado en otra de las zonas áridas de México, el Valle de Oriental en Puebla. Si consideramos que gran parte de nuestro territorio se encuentra expuesto a condiciones de sequía, sería de esperar que este esfuerzo tuviera mayor repercusión en las investigaciones actuales.

El efecto del fenómeno El Niño tiene una repercusión sobre la producción agrícola y pesquera nacional. El cuarto capítulo contiene cinco contribuciones, resultado del efecto de El Niño, la disponibilidad de recursos prioritarios y su influencia en la economía nacional. Las primeras dos contribuciones analizan el efecto de dicho evento sobre la producción de dos recursos prioritarios en México, el trigo en el noroeste de México (Salinas Zavala), y la pesca del camarón en el Golfo de México (Gracia Gasca). Los otros tres trabajos inciden sobre la pesquería artesanal de especies de peces en la costa de Jalisco (Aguilar Palomino y colaboradores), la producción de algas comestibles en el Golfo de California (Pacheco y colaboradores), y la distribución de peces frente a La Paz.

Las variaciones en precipitación y temperatura generadas por la presencia del fenómeno El Niño en el territorio nacional tienen un efecto en la calidad ambiental y en la salud, por lo que el capítulo cinco se ha centrado en esta última. Éste compendia tres contribuciones que estudian los cambios generados por la variación en el clima y cómo éstos influyen en la salud. La primera de ellas analiza el efecto sobre

el estado anímico de los habitantes en las distintas regiones afectadas por las precipitaciones pluviales (Domínguez y colaboradores). Las otras dos son resultado de estudios intensivos realizados en laboratorios situados en la zona costera del Pacífico y abocados a analizar la propensión al incremento de plagas y algas tóxicas, resultado del fenómeno El Niño, en la alteración de la calidad del agua por las lluvias y en la elevación de la temperatura que generan mayor incidencia de algas tóxicas, las cuales a la vez afectan la salud de los pobladores de la zona costera de México; Ochoa y Lluch Cota presentan un panorama nacional, y Gárate y colaboradores se refieren a aspectos que afectan en particular al Golfo de California.

Un número elevado de contribuciones se centró en aspectos de diversidad biológica y en interacciones biológicas como indicadores del cambio generados por la variabilidad climática, por las modificaciones en la calidad ambiental, y por los recursos disponibles en diversos hábitat del territorio nacional. Este conocimiento tiene una aplicación inmediata en los planes de manejo y conservación de la flora y la fauna nacionales. El capítulo seis agrupó 10 contribuciones en rubros que ejemplifican el efecto que surte dicho fenómeno sobre la disponibilidad de nutrientes y la producción primaria de las grandes algas de Baja California (Hernández Carmona y colaboradores), o acerca de la interacción con algas simbiotas y arrecifes de coral (Iglesias y Reyes); dos trabajos (Lavaniegos y colaboradores, y Palomares y colaboradores) se abocan a describir las variaciones en riqueza de especies, abundancia y cambios en la composición faunística de componentes que viven a la deriva en las aguas marinas de diferentes partes del Pacífico. El trabajo de Meraz y Drummond nos muestra cómo El Niño genera un efecto en cascada, en el que la mengua de la pesquería en el Pacífico incide sobre la abundancia de las aves en las islas situadas frente a la costa de Manzanillo. La contribución de Urbán y Gómez muestra el efecto que surte el calentamiento de las aguas del Pacífico sobre la disponibilidad de alimento para las ballenas grises, y cómo se aprecia una disminución en la abundancia y un incremento en la mortalidad de dichos cetáceos. Este tipo de ejemplos no son exclusivos de los ambientes marinos; la contribución de

Álvarez Castañeda y Cortés muestra un efecto similar en pequeños roedores de zonas áridas que dependen de la disponibilidad de semillas para su reproducción. Una última sección de este capítulo se aboca a la flora y la fauna asociadas a los fondos marinos. Las dos primeras contribuciones relatan el efecto del calentamiento de las aguas del Pacífico sobre la diversidad y la abundancia de gusanos que llevan a cabo la remineralización de la materia orgánica en la laguna de San Quintín (Díaz Castañeda), así como sobre las algas marinas y la fauna asociada, como el abulón y la langosta en Bahía Tortugas (Guzmán del Prío y colaboradores). La última contribución (Escobar Briones) se centra en el efecto de El Niño sobre el ecosistema de los fondos marinos en el Golfo de México, y cómo el vínculo clima-temperatura superficial-disponibilidad de nutrimentos-producción primaria-exportación de materia orgánica afecta positivamente la abundancia de fauna característica del sedimento durante la aparición de dicho fenómeno.

Los trabajos incluidos en este volumen reflejan la gran diversidad de enfoques que tiene la investigación científica, la tecnología y las humanidades al tratar de entender el evento El Niño, el cual incide en diferentes escalas de la producción y en problemáticas de interés nacional. Los compiladores de este volumen esperan que la lectura de las diversas contribuciones permitan entender la vastedad del conocimiento en las distintas disciplinas y motive a los jóvenes a generar ideas creativas que contribuyan a ampliar y complementar el conocimiento con esfuerzos que permitan a futuro prevenir desastres y predecir efectos en todas las escalas de tiempo y de complejidad del ambiente en el cual vive el hombre.

#### Los compiladores

Doctora Elva Escobar Briones

Doctor Marcial Bonilla

Doctor Antonio Badán

Doctora Margarita Caballero

Doctor Alain Winckell



---

## **I. LAS CAUSAS DEL FENÓMENO CLIMA-OCÉANO**



---

# EL FENÓMENO EL NIÑO/OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS) Y SUS IMPACTOS EN MÉXICO

Víctor O. Magaña, Jorge L. Vázquez, Joel B. Pérez y José L. Pérez

Departamento de Meteorología General  
Centro de Ciencias de la Atmósfera  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
04510 México, D.F.  
victormr@servidor.unam.mx

---

## Introducción

**U**no de los mayores retos de las ciencias atmosféricas es entender las variaciones climáticas que se producen año con año. La agricultura, la generación de energía eléctrica, la pesca, o el abasto de agua a las ciudades pueden verse afectados por condiciones extremas en las lluvias. Las actividades de prevención de desastres naturales o la salud humana dependen en mucho de los cambios en el clima. Es por ello que cada día se presta más atención a los factores que lo modulan.

Con el tiempo se ha encontrado que uno de los fenómenos que más afectan el clima en escalas interanuales de tiempo es el conocido evento El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), que no sólo provoca cambios en el clima de los países de la cuenca del Pacífico tropical, sino prácticamente en el de todo el mundo. Las campañas de observación, el uso de satélites y el aumento de las comunicaciones han incrementado nuestro entendimiento del fenómeno ENOS. Hoy sabemos cuál es el patrón de anomalías de temperatura de superficie del mar que lo caracteriza. También hemos determinado en qué medida afecta el clima del planeta a escala regional, e incluso ya se realizan buenos pronósticos de su ocurrencia e intensidad.

### Los impactos de El Niño en México

En nuestro país, el fenómeno ENOS tiene grandes repercusiones en el clima y, en gran medida, en nuestras actividades socioeconómicas. Estudios recientes muestran que los regímenes de lluvias de invierno y verano se ven afectados. Podemos decir que las lluvias se intensifican durante los inviernos de El Niño (figura 1a). Por otro lado, en los inviernos de La Niña, las lluvias tienden a disminuir en la mayor parte del país (figura 1b) excepto en la región del Istmo de Tehuantepec. Desde el punto de vista científico, el problema más interesante está

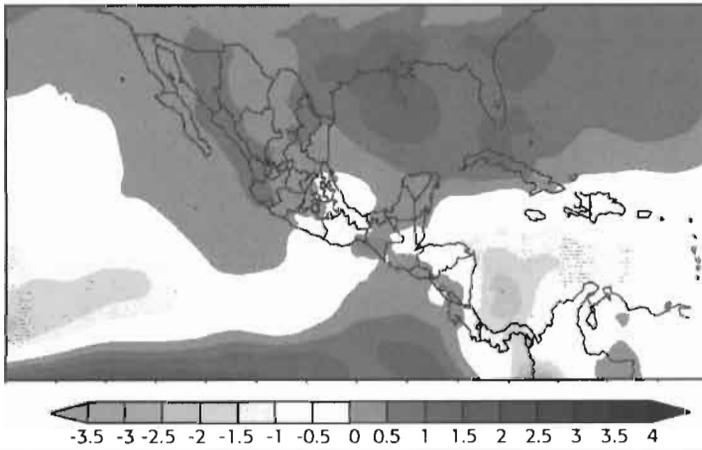


Figura 1a. Promedio de anomalías de precipitación (mm/día) durante los inviernos de El Niño.

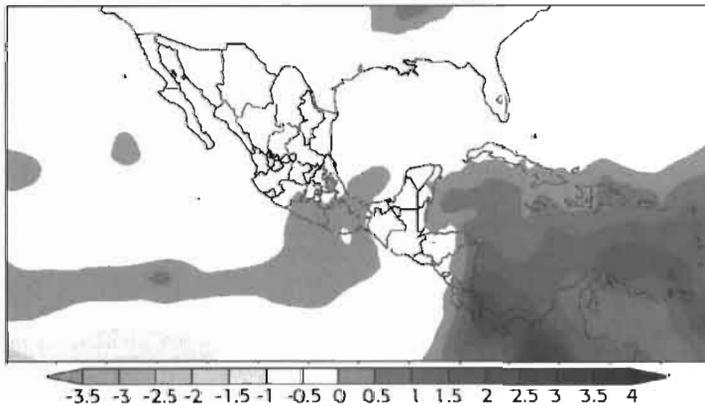


Figura 1b. Promedio de anomalías de precipitación (mm/día) durante los inviernos de La Niña.

en entender por qué algo que ocurre en el Océano Pacífico tropical afecta nuestro clima invernal. En inviernos de El Niño, la corriente en chorro de latitudes medias, en la que los ciclones de gran escala se encuentran inmersos, se desplaza hacia el sur provocando una mayor incidencia de frentes fríos y lluvia en la zona norte y centro de México (figura 2). Tales cambios en la circulación atmosférica resultan en un mayor número de los llamados “nortes” en el Golfo de México y el Mar Caribe. Sin embargo, un aumento en la actividad de “nortes” no necesariamente resulta en más lluvia. Aún no existe una respuesta al porqué de tal situación. Sabiendo que el invierno por vivirse es

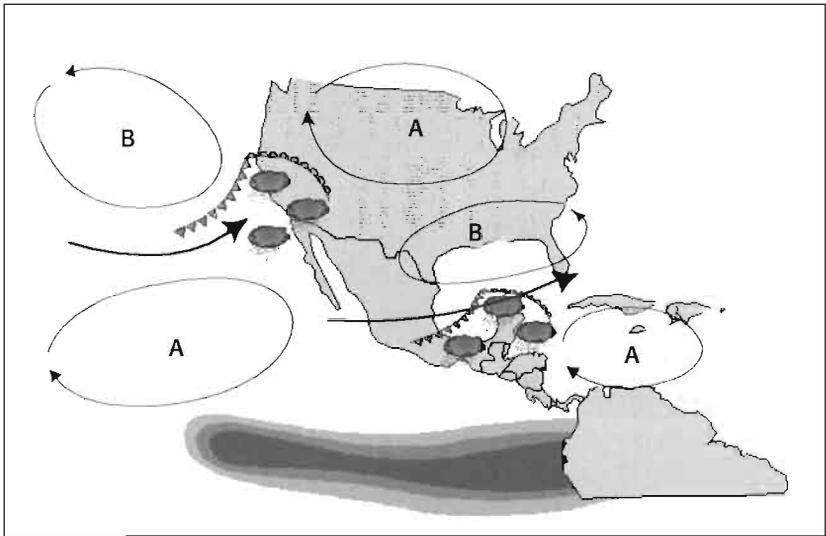


Figura 2. Los impactos de El Niño en México durante el invierno. A) Implica anomalías de circulación anticiclónica, y B) Anomalías de circulación ciclónica.

Niño o Niña, los patrones promedio de las anomalías de la lluvia en años de El Niño o La Niña son una buena guía para pronosticar el clima. Sin embargo, existen variaciones en la estructura local de las anomalías de la lluvia entre un evento ENOS y otro, en lo que se conoce como variabilidad entre eventos El Niño. Tales variaciones son las que convierten el problema de pronóstico a largo plazo en materia de investigación científica.

Durante los veranos de El Niño, las lluvias en la mayor parte de México disminuyen (figura 3a). Bajo eventos intensos de El Niño, los déficit de lluvia durante el verano se pueden traducir en sequía. Por el contrario, en los veranos de La Niña, las lluvias parecen estar por encima de lo normal en la mayor parte de México, pero especialmente en la costa del Pacífico (figura 3b).

Varios factores influyen para tales disminuciones en la lluvia durante los veranos de El Niño. Por ejemplo, la Zona Intertropical de

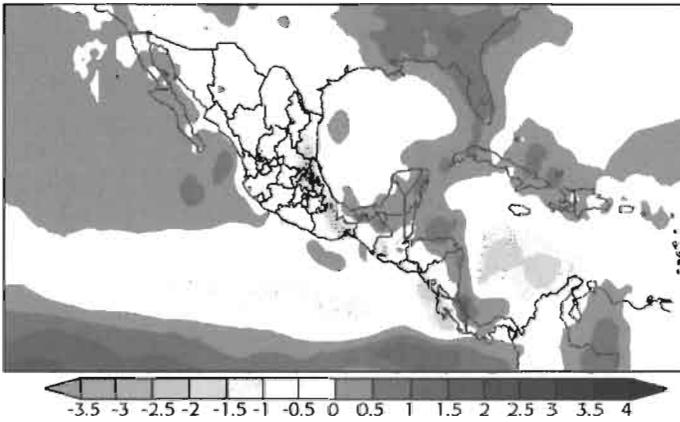


Figura 3a. Promedio de anomalías de precipitación (mm/día) durante los veranos de El Niño.

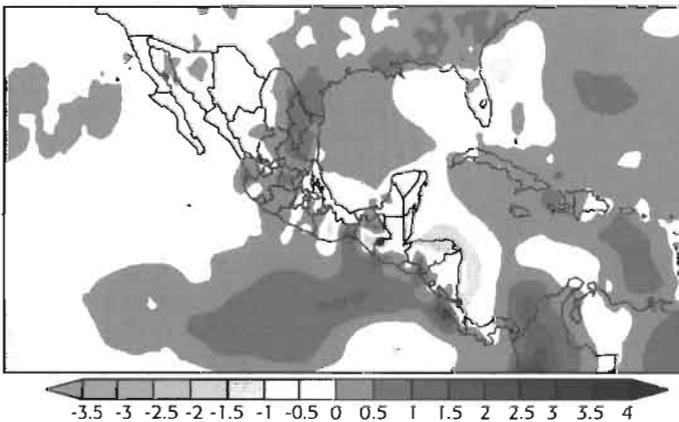


Figura 3b. Promedio de anomalías de precipitación (mm/día) durante los veranos de La Niña.

Convergencia (ZITC) del Pacífico del este, donde existe gran cantidad de nubes profundas y lluvia, tiende a permanecer más cercana del Ecuador, por lo que la fuente de humedad para las precipitaciones en la costa oeste de México, durante los meses de junio, julio y agosto, permanece alejada y con ello las lluvias de verano son bajas. Tal desplazamiento en la ZITC provoca que la subsidencia en la mayor parte de México sea anómalamente fuerte con lo que la formación de lluvias intensas se inhibe, y las lluvias son poco frecuentes (figura 4).

Los huracanes, tanto en el Pacífico como en el Atlántico, son fuente importante de precipitaciones en México, particularmente en el norte del país. Relaciones estadísticas sugieren que durante años El Niño, el número de huracanes en el Atlántico, el Mar Caribe y el Golfo de México disminuye. Por el lado del Pacífico lo más que se puede decir es que los huracanes pueden ser más intensos y de mayor duración, aunque sus orígenes pueden ser más dispersos a lo largo de todo el Pacífico centro oriental y no necesariamente concentrados frente a México.

Debe quedar claro, sin embargo, que el fenómeno El Niño sólo explica parte de la variabilidad interanual de las lluvias en México y el mundo. Existen muchos otros factores que deben considerarse al

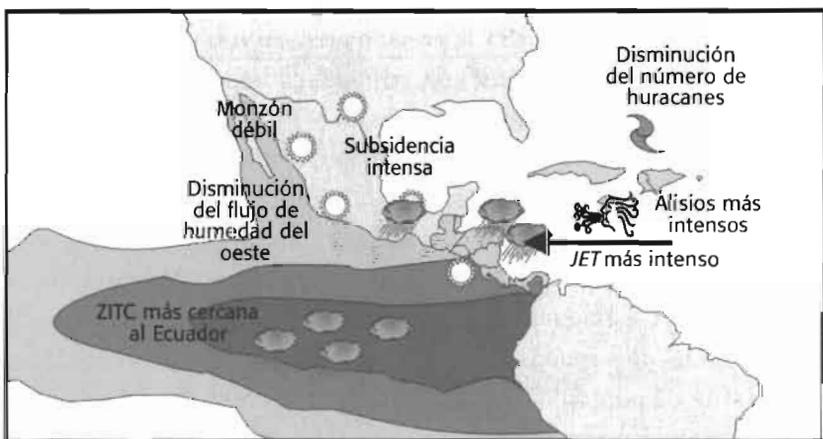


Figura 4. Los impactos de El Niño en México durante el verano.

momento de hacer un pronóstico de largo plazo. Por ejemplo, las condiciones del Océano Atlántico, la humedad en el suelo, la variabilidad interna del sistema climático, son factores que pueden determinar el tipo de clima que se experimentará. Es claro que un sistema tan complejo como el océano-continente-atmósfera presenta un amplio espectro de fluctuaciones, en el que las interacciones no lineales son fundamentales. Aun cuando el problema de pronosticar el clima es muy complicado, los avances en esta materia nos permiten hoy en día generar predicciones que ya son útiles en diversos sectores socioeconómicos. La agricultura y el manejo de agua son quizá los que más se ven beneficiados con esta información.

---

### **Consecuencias de la variabilidad climática en México**

La falta o exceso de lluvias puede resultar en importantes alteraciones para la vida socioeconómica de un país. En México la agricultura es en su mayor parte de temporal. Todavía más, gran parte de la producción en este sector es para el autoconsumo de las familias campesinas. La falta de lluvia en la década de los noventa resultó en grandes pérdidas en el campo mexicano. Incluso en los últimos años las declaraciones de zonas de desastre por la sequía se han vuelto comunes. En buena medida, las sequías han estado asociadas a una gran actividad de eventos El Niño desde principios de los ochenta.

En los años 1982-1983 se produjo un evento ENOS muy severo, que provocó sequías, incendios y pérdidas estimadas en cerca de 600 millones de dólares en las economías de México y Centroamérica. El evento El Niño de 1997-1998 resultó quizás el más intenso del siglo. Las pérdidas en agricultura, ganadería, pesca, silvicultura y desastres naturales sumaron alrededor de dos mil millones de dólares en México. Quizá lo más preocupante resulte ser el número de gentes que se vio afectada, estimándose de manera conservadora en alrededor de 20 millones de personas. Ante tal panorama, resulta cada vez más importante disponer de diagnósticos y pronósticos del clima con el fin de planear nuestra vida socioeconómica y reducir las pérdidas. Se debe tener cuidado, sin embargo, de no sobresimplificar el problema del clima y su pronóstico, generando información que no se sustente

en verdaderas investigaciones científicas. Son grandes y reales los peligros de caer en la tentación de soluciones fáciles, casi mágicas, como las de los hacedores de lluvia, sean éstos chamanes, vendedores de antenas ionizadoras o personas que prometen hacer llover mediante conjuros secretos. Una verdadera estrategia de adaptación ante condiciones extremas en el clima sólo podrá provenir de estudios científicos serios en la materia.

---

### **Acciones de mitigación y adaptación ante el fenómeno de El Niño**

La vulnerabilidad del país ante eventos muy fuertes de El Niño está en relación inversa con la difusión y comprensión de los pronósticos climáticos; con la capacidad técnica para aplicar medidas preventivas si los efectos esperados son negativos, o bien, para el aprovechamiento de las condiciones favorables que este evento pudiera provocar en algunas regiones (llenado de presas en el norte del país, por ejemplo), y con la disponibilidad de recursos financieros para aplicar esas medidas. Brasil y Australia son algunos ejemplos en cuanto a acciones para mitigar y/o adaptarse a El Niño.

En México son muchas las acciones por realizar. Resulta cada vez más urgente diseñar una política de manejo de agua, que tome en cuenta las variaciones de las lluvias año con año. La falta de agua en el norte, o su exceso en la parte sur, son problemas con los que debiéramos saber tratar. Las prácticas agrícolas obsoletas, de roza, tumba y quema, deben desecharse. Las pérdidas de nuestros bosques están muy relacionadas con tales procedimientos en nuestra agricultura. Debemos establecer regulaciones más estrictas en materia de asentamientos humanos irregulares, que sólo ponen en riesgo a quienes por ignorancia o pobreza se exponen viviendo en zonas de alto riesgo. Estos son sólo algunos ejemplos de los problemas que están en cierto grado asociados a la variabilidad climática. En algunos casos, ya se trabaja para darles solución.

Es claro que son muchos los problemas de tipo ambiental que enfrenta nuestro país. El fenómeno El Niño con frecuencia los hace aun más evidentes. Sin embargo, el conocimiento adquirido en esta ma-

teria ya puede ser utilizado para disminuir los impactos negativos y tomar ventaja de los aspectos positivos.

---

**Bibliografía**

*Los impactos de El Niño en México*, V. Magaña (editor), México, Dirección General de Protección Civil, Secretaría de Gobernación, 238 p. Copias disponibles.

---

# **LAS IMÁGENES DE SATÉLITE AYUDARON A EVALUAR LOS EFECTOS DE EL NIÑO/OSCILACIÓN DEL SUR EN EL PACÍFICO MEXICANO, EN EL PERIODO 1997-1998**

Román Álvarez,<sup>1</sup> Olivia Salmerón<sup>2</sup> y Raúl Aguirre<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas

<sup>2</sup>Instituto de Geografía

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

045 10 México, D.F.

rab@leibniz.iimas.unam.mx

---

## **Descripción del fenómeno**

**H**asta los años 60, el fenómeno El Niño era concebido como un efecto local, restringido a las costas de Perú y Ecuador. Fue hasta después del Año Geofísico Internacional de 1958, que los estudiosos del fenómeno tuvieron acceso a gran cantidad de datos oceanográficos globales, que ayudaron a determinar que la influencia del fenómeno se extendía a otras regiones del mundo. Las aguas con mayor temperatura anómala no se restringían a las costas de esos países de Sudamérica, sino que se extendían hacia el oeste hasta la mitad del Pacífico.

Observaciones adicionales mostraron que al mismo tiempo que ocurría El Niño, los vientos dominantes eran más leves que lo normal y las precipitaciones eran mayores del Pacífico central al Pacífico este. Estos patrones constituyen una importante característica de El Niño. Además, el avance de las aguas más cálidas del Pacífico central hacia las costas sudamericanas disminuye el efecto de la corriente de Humboldt, que fluye hacia el norte por la costa occidental de Sudamérica. En el término de aproximadamente un año, esas condiciones cambian, retirándose las aguas más calientes nuevamente hacia el Pacífico occidental, junto con las corrientes de aire más intensas.

La corriente de Humboldt avanza entonces sobre el Pacífico tropical, donde inyecta grandes volúmenes de agua fría provenientes de la Antártica, evitando la formación de lluvia y nubes.

Sir Gilbert Walker, trabajando como director general de Observatorios en la India, desde principios de siglo hasta casi 1940, estudió las fluctuaciones del clima tropical para predecir las variaciones del monzón. Descubrió una oscilación irregular entre las presiones atmosféricas de Tahití, Polinesia francesa, en el Pacífico central ecuatorial, y Darwin, en el norte de Australia. Tahití tiene normalmente una presión atmosférica mayor que la de Darwin. Ambas presiones fluctúan irregularmente alrededor de sus valores promedio, de tal modo que cuando una está en un máximo, la otra está en un mínimo. Walker logró vincular estas variaciones periódicas, a las que llamó la Oscilación del Sur, a cambios en muchas variables climáticas alrededor del mundo. En observaciones hechas desde 1950 hasta 1990 esta oscilación ha podido ser relacionada con los fenómenos de El Niño en esa época, de ahí el nombre completo de El Niño/Oscilación del Sur o ENOS.

---

### **El efecto de los vientos**

Los estudios oceanográficos han mostrado que en el océano tropical los vientos alisios, que soplan del noreste y del sureste hacia el oeste, crean una corriente oceánica superficial de este a oeste a lo largo del Ecuador. El agua más caliente se acumula en una capa profunda a lo largo de Indonesia y la costa oriental de Australia. La acumulación de agua es tal que el nivel del océano es 40 cm más alto en Indonesia que cerca de Sudamérica. Esto hace también que la termoclina (el punto en la columna de agua en donde la temperatura cambia drásticamente) sea mucho más profunda en el Pacífico occidental que en la vecindad de Sudamérica. El calor del agua intensifica las lluvias convectivas en esa región, bombeando humedad y energía a niveles altos de la atmósfera. Esta fuente de calor y humedad conecta a los trópicos con la atmósfera global.

El Niño está asociado a la disminución en magnitud del sistema de los vientos alisios tropicales, especialmente los alisios del sureste, los cuales ocurren sobre el flanco oriental del giro anticiclónico del

Pacífico del sur. La circulación atmosférica normal produce vientos fuertes, los cuales arrastran el agua superficial y su lugar es reemplazado por aguas frías del fondo, ricas en nutrimento y altamente productivas, a lo largo de las costas tropicales de América del Sur y sobre la banda ecuatorial del Pacífico oriental. Este fenómeno es conocido como surgencia. El debilitamiento de los alisios produce un descenso en las surgencias, elevándose la temperatura superficial del mar aproximadamente a 5°C.

A primera vista este proceso de enfriamiento parece ser un forzamiento atmosférico de los vientos superficiales sobre el océano, como sucede en la mayoría de las regiones de surgencia en el mundo. Sin embargo, en esta zona del Océano Pacífico se observa un comportamiento diferente en épocas de El Niño, ocasionado por el aumento en la temperatura superficial del mar, el cual produce cambios en la distribución de las fuentes y sumideros del calor atmosférico, los que, a su vez, producen la circulación de los vientos alisios. Estos vientos transportan vapor de agua oceánica hacia áreas de convergencia tropical atmosférica, donde se precipitan las lluvias. Estas zonas de convergencia se localizan alrededor de regiones de máxima temperatura superficial, como son el norte del Ecuador y el Pacífico tropical suroccidental. En periodos de El Niño estas zonas de convergencia tienden a moverse hacia el sur, a través del Ecuador. El anticiclón del Pacífico del sur se debilita y los alisios decrecen en magnitud. Simultáneamente, la presión atmosférica superficial sobre Indonesia y Australia tiende a elevarse con la consecuente reducción en lluvias.

La menor fuerza de los vientos no puede retener a la masa de agua caliente en el Pacífico occidental, que empieza a migrar hacia el este. Esta masa de agua caliente desplaza a las de agua fría en el Pacífico oriental, que contienen muchos nutrientes, y que normalmente se encuentran cerca de la superficie. Esto impide el flujo de nutrientes a la base de la cadena alimenticia, iniciando un ciclo de devastación biológica. Al mismo tiempo aparece una contracorriente cálida frente a las costas de Sudamérica. Esta es la corriente a la que los pescadores peruanos bautizaron como El Niño. Las aguas cálidas que fluyen hacia el este desde Indonesia y las aguas cálidas del Pacífico del

este se unen, formando un cinturón de agua cálida que puede abarcar un tercio de la distancia alrededor de la Tierra.

El flujo hacia el este de las aguas más cálidas induce cambios en la circulación atmosférica que afecta áreas fuera del trópico. Estas aguas calientan la atmósfera sobre ellas, lo que propicia tormentas, así como altas presiones anómalas a lo largo del Ecuador. Ello causa una cadena planetaria de altas y bajas presiones que radian de la zona de agua caliente. Los altos y bajos atmosféricos pueden inducir cambios de trayectoria en las tormentas, que finalmente afectan las condiciones climáticas en regiones alejadas de dicha zona.

---

### **El Niño en México**

Una consecuencia importante de este calentamiento es el decaimiento de la productividad primaria biológica a lo largo de las costas orientales del Pacífico, desde Perú hasta California (Barber y Chávez, 1983). Algunos de los cambios observados durante un evento El Niño son: peculiares altas temperaturas superficiales del mar, corrientes costeras dirigidas a los polos, fuertes lluvias, invasión de organismos tropicales y mortalidad masiva de organismos marinos locales. Cortés y Núñez (1992) encontraron que la formación de mareas rojas en las costas de Mazatlán se inhibe en años de El Niño. Registros de marea han mostrado la presencia de anomalías positivas en el nivel medio del mar en las costas mexicanas del Pacífico durante eventos de El Niño (Robles y Christensen, 1983).

México se encuentra en la Zona Intertropical del Pacífico (zona de convergencia tropical), misma que en años de El Niño se desplaza hacia el norte afectando casi totalmente las aguas mexicanas en dicho mar. Estudios previos con imágenes de satélite han mostrado una alta concentración pigmentaria, es decir, sustancias que dan color al agua del mar como: a) fitoplancton, plantas microscópicas que se distribuyen en el agua hasta la profundidad máxima alcanzada por la luz, las cuales contienen clorofila, pigmento verde de los vegetales capaz de transformar la energía de la luz del sol en energía química, y b) sedimentos, material suspendido en el agua como materia orgánica, detritos de roca, granos minerales y partículas arcillosas. Como

ejemplo se tiene que esta alta concentración de pigmentos puede asociarse a bajas temperaturas en el Golfo de California (GC), mientras que para aguas cálidas ocurre lo contrario, sugiriendo que las bajas temperaturas superficiales son inducidas por mezclas de aguas profundas con las superficiales. De esta forma el nutriente llega a la superficie. En tiempo de invierno existe una gran energía de mezcla que da lugar a una zona eufótica con mucho nutriente. Esta característica, que es lo que le da la alta productividad al Golfo (Bray, 1988), ha dado lugar al término Agua del Golfo.

Los pocos efectos observados para un evento El Niño (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994) se atribuyen a que la gran energía de mezcla que hay en el GC disminuye su impacto. En situación normal hay dos condiciones que operan en el GC, que son las de verano y las de invierno. En invierno existe una gran energía de mezcla, que da lugar al Agua del Golfo, mientras que en verano esta energía disminuye y el GC se ve invadido por agua cálida, oligotrófica del Pacífico oriental, que reduce la productividad primaria. Al llegar el invierno la alta energía de mezcla rompe el patrón de agua cálida, fertilizando la capa superior de tal forma que el Agua del Golfo presenta una productividad mayor que la que se encuentra en las regiones cercanas del Pacífico.

El carácter global del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) lo hace adecuado para estudiarlo mediante imágenes satelitales, lo cual se hizo inicialmente, usando el Coastal Zone Color Scanner (CZCS), después con imágenes de temperatura superficial del mar, usando el Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo de los satélites de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos, por medio de imágenes climatológicas, utilizando el GOES-8, y mediante determinaciones de elevación de nivel medio del mar, usando información del satélite europeo TOPEX/Poseidon. La disponibilidad de imágenes del SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor), que es la versión moderna del CZCS, aumenta considerablemente las posibilidades de análisis de los efectos de El Niño. Analizaremos brevemente las características de estos dos tipos de imágenes.

---

### **Temperatura superficial del mar**

Para la obtención de las temperaturas superficiales del mar, utilizamos imágenes NOAA-AVHRR, las cuales se reciben en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y se procesan con un conjunto de programas denominado TeraScan.

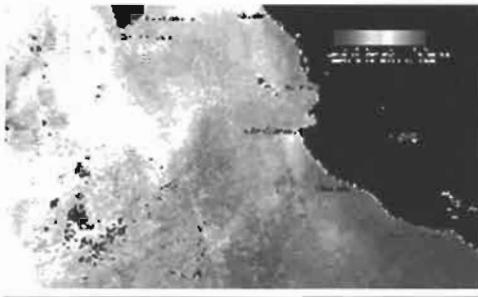
TeraScan es un sistema para la adquisición y procesamiento de datos de telemetría provenientes de sensores remotos. Está conformado por una serie de programas que sirve para registrar, calibrar y obtener temperaturas superficiales del mar, además de muchas aplicaciones más.

Las imágenes recibidas provienen actualmente de los satélites NOAA12, NOAA14 y NOAA15, aunque este último fue recientemente discontinuado. De cada uno se captan dos por día. Éstas se respaldan en formato crudo en cintas de cuatro mm y posteriormente se procesan para obtener las temperaturas superficiales del mar para toda la República Mexicana. Primero se hace un recorte de cada imagen, pues originalmente abarcan desde los Grandes Lagos en los Estados Unidos hasta Centroamérica, y en ocasiones un poco más al sur; después se hace una corrección geométrica y se usa como base la proyección cartográfica de Mercator, y por último se calculan las temperaturas. La figura 1 muestra las observaciones de la temperatura superficial del Pacífico mexicano en cuatro fechas espaciadas un año entre cada una. La influencia de El Niño en la correspondiente a noviembre de 1997 muestra claramente el sobrecalentamiento ocurrido respecto a las temperaturas en los otros años.

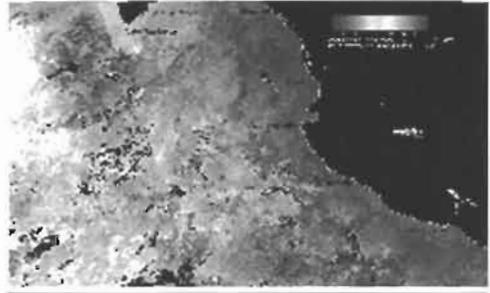
---

### **SeaWiFS y la distribución de clorofila**

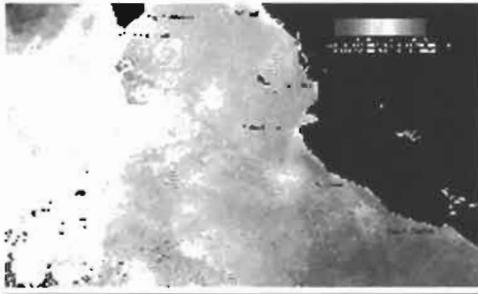
El conjunto de datos oceanográficos que hoy se pueden obtener a partir de sensores remotos instalados en satélites ha cambiado radicalmente las posibilidades y el costo de la investigación oceanográfica. Se trata de una tecnología relativamente nueva para cuya utilización es necesario generar experiencia e infraestructura, tanto en el terreno de la adaptación tecnológica como en el uso de esta herramienta de investigación en conjunción con los métodos tradicionales de investigación oceanográfica. Aunque los datos provenientes de sensores



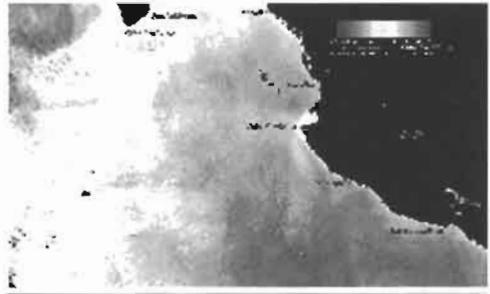
*Compuesto noviembre, 1996.*



*Compuesto noviembre, 1997.*



*Compuesto noviembre, 1998.*



*Compuesto noviembre, 1999.*

*Figura 1. Imágenes NOAA-AVHRR de anomalías de temperatura superficial del mar.*

satelitales no contienen información directa sobre la columna de agua, la continuidad temporal y la alta resolución espacial de los datos superficiales los hace una herramienta indispensable en diversas áreas de la oceanografía; por tanto, dichos datos deben estar disponibles, mediante una base de datos que permita incorporarlos a los trabajos de investigación, educación y de toma de decisiones que se realizan en el país.

El sensor Coastal Zone Color Scanner (CZCS) proporcionó información valiosa durante cerca de 10 años en aspectos tales como la detección de pigmentos fitoplanctónicos, observaciones de abundancia de clorofila, la determinación del coeficiente de atenuación difu-

sa en el mar y la estimación de la productividad primaria en el océano. SeaWiFS fue lanzado al espacio en septiembre de 1997, después de varios años de espera, para continuar con la observación del color del océano desde una plataforma satelital, usando nuevas bandas de observación y ofreciendo la posibilidad de aplicar algoritmos más desarrollados. La tabla I muestra las características principales de este sensor.

En el Instituto de Geografía de la UNAM actualmente se procesan las imágenes SeaWiFS con las que se pueden obtener productos tales como los mencionados anteriormente. Las imágenes obtenidas cubren prácticamente en su totalidad los mares mexicanos. Dadas las posibilidades que brinda el contar con imágenes de color del océano, es importante plantearse la meta de utilizar estas imágenes no sólo como un banco de datos sino como una herramienta para analizar diferentes procesos oceánicos, como la distribución del fitoplancton marino, la estimación de la concentración de sedimentos y clorofila, la distribución y transporte de sedimentos, la detección de giros y frentes a escala media.

Los procesos mencionados proporcionan datos de alta confiabilidad; sin embargo, es esencial la calibración y validación de estos

**TABLA 1**  
**Características principales del sensor SeaWiFS.**  
**LAC es cobertura local y GAC es cobertura global**

Sensores	Bandas (nm)	Periodo de adquisición	Región espectral	Resolución espacial al nadir (km)	Barrido	Aspectos principales
		12 horas		1.1 (LAC) 4.5 (GAC)	2801 km	Oceanografía
Banda 1	402-422		Visible			Absorción de clorofila
Banda 2	433-453		Visible			Absorción de clorofila
Banda 3	480-500		Visible			Absorción de carotenos
Banda 4	500-520		Visible			Reflectancia de clorofila
Banda 5	545-565		Visible			Reflectancia de clorofila
Banda 6	660-680		Visible			Absorción de clorofila
Banda 7	745-785		Infrarrojo			Corrección atmosférica
Banda 8	845-885		Infrarrojo			Corrección atmosférica

datos, tareas indispensables que brindan la oportunidad de interactuar con grupos internos y externos a la institución. Así, la participación en cruceros oceanográficos y el acceso a datos de campo contribuirán a un mejor análisis de las imágenes obtenidas por satélite. Correspondientemente, con la calibración y validación de estos datos, las capacidades sinópticas de las imágenes de satélite permitirán realizar evaluaciones en regiones no cubiertas por los buques oceanográficos.

---

### **Conclusiones**

El fenómeno El Niño/Oscilación del Sur es de alcances globales, originándose en el Océano Pacífico y afectando muchas regiones del globo, algunas no directamente vinculadas al Pacífico. México no sólo tiene un litoral cuya extensión en el Pacífico es mayor a seis mil km, por las latitudes que abarca, sino que está expuesto al fenómeno ENOS en toda su parte occidental. El área marina involucrada en el mar patrimonial del Pacífico es semejante al área territorial del país, esto es, alrededor de dos millones de km cuadrados.

Hacer observaciones en toda esa extensión con base en cruceros oceanográficos convencionales resultaría impracticable hoy en día. Con las observaciones satelitales se puede hacer el seguimiento de diversos fenómenos en la superficie del mar, los cuales están vinculados a la productividad primaria, de consecuencias directas sobre las pesquerías.

Hasta ahora las observaciones y los trabajos de investigación sobre ENOS en México han sido muy limitados. El fenómeno de 1998 es probablemente el mejor documentado en México hasta ahora. Las observaciones sobre la totalidad del Pacífico mexicano a través de imágenes de satélite, combinadas con una serie de cruceros oceanográficos, están contribuyendo a entender cómo nos afecta este fenómeno.

En el futuro próximo se incrementará marcadamente la observación de la superficie terrestre gracias a las plataformas satelitales. Son varios países los que las están construyendo, y algunas de ellas están a punto de lanzar sus satélites. Muchos de estos nuevos datos esta-

rán disponibles en forma gratuita, por lo que es indispensable que México cuente con más estaciones de recepción de datos de satélite, para que, además de ser distribuidos entre diversos grupos tecnológicos y de investigación, también sean archivados para futuras consultas. De esta manera, los fenómenos que afectan nuestros mares y territorio podrán ser mejor entendidos, para beneficio de toda nuestra población.

---

## Referencias

- Barber, R.T., and F.P. Chávez. "Biological Consequences of El Niño", *Science*, 222, 1983. pp. 1203-1210.
- Bray, N. A. "Termohaline Circulation in the Gulf of California", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 93(C5), 1988, pp. 4993-5020.
- Cortés, R., and A. Nuñez. "Twelve Years (1979-1990) of Red Tide Records in Mazatlan Bay, Sinaloa, Mexico", *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 19(1), UNAM, 1992, pp. 113-121.
- Robles, J.M., and N. Christensen. "Effects of the 1982-1983 El Niño on the Gulf of California", *EOS Transactions*, 64, American Geophysical Union, 1983, p. 103.
- Santamaría del Ángel, E.; S. Álvarez Borrego and F.E. Muller Karger. "The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in Coastal Zone Color Scanner Imagery", *Journal of Geophysical Research*, 99 (C4), 1994, pp. 7423-7431.

# RESULTADOS PRELIMINARES DEL MONITOREO DE EL NIÑO 1997-1998 EN EL OCÉANO PACÍFICO EN LA COSTA OCCIDENTAL DE MÉXICO

Anatoliy Filonov e Irina Tereshchenko

Departamento de Física, CUCEI  
Universidad de Guadalajara (UdeG)  
Apartado Postal 4-040,  
44421 Guadalajara, Jal., México  
afilonov@udgserv.cencar.udg.mx

## Antecedentes

**E**n el Departamento de Física de la Universidad de Guadalajara (UdeG), en el transcurso de los últimos tres años, se han realizado investigaciones de la dinámica de las aguas en el Polígono de Monitoreo Ecológico, que está ubicado en la zona costera de los estados de Jalisco y Colima (figura 1). Este Polígono es la base de otras investigaciones realizadas por los biólogos del Centro de Ecología Cos-

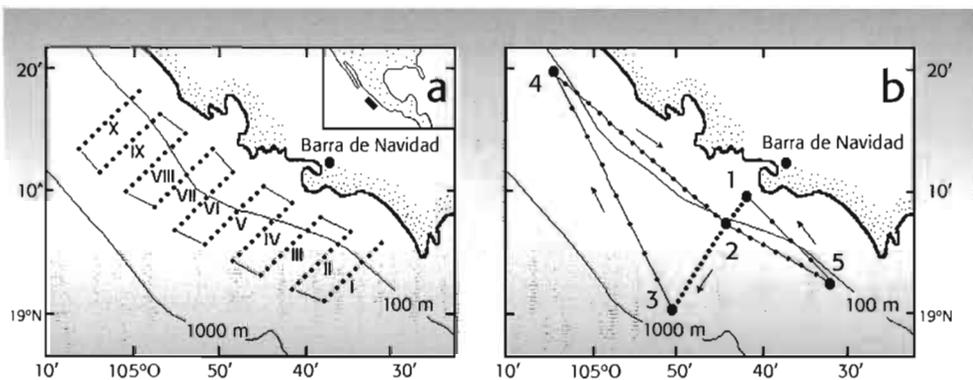


Figura 1. Esquema de la posición de los transectos oceanográficos en el Polígono. a) Las mediciones realizadas en los años 1995-1997, y b) Las mediciones realizadas en el año 1998.

tera de la UdeG, siendo esta zona hasta hace poco tiempo la región menos estudiada de las costas occidentales mexicanas. Dicho Centro cuenta con un pequeño barco de investigación Bip-V, con el cual se realizan los trabajos en el mar.

---

### **Metodología**

De julio de 1995 hasta julio de 1998 se realizaron 25 levantamientos oceanográficos rápidos en el Polígono (dos mil sondeos verticales de temperatura y salinidad). Cada levantamiento consistió en 10 transectos perpendiculares a la costa, realizándose en cada uno la misma cantidad de sondeos verticales hasta una profundidad de 150 m, con una distancia entre ellos de 1.5 km. El levantamiento cubre un área de casi 80x30 km y se realizó en 16-18 horas. Desde diciembre de 1997 la forma de los levantamientos fue cambiada y el último medio año se realizaron en forma cruzada, con el esquema que se muestra en la figura 1b.

---

### **Análisis y resultados**

Las mediciones en el Polígono en los últimos dos años permitieron registrar la señal de El Niño de los años 1997-1998 en la costa de México. Los perfiles verticales de la temperatura y salinidad se obtuvieron al promediar los datos de los levantamientos oceanográficos del Polígono.

El cambio de las características hidrológicas medias en el Polígono fue notorio, incluso desde junio del año 1997. El debilitamiento de los vientos alisios provocó en la costa mexicana la mezcla de aguas más calientes y menos saladas cuyos índices *T-S* coincidieron con los índices de la masa de agua ecuatorial subsuperficial del Océano Pacífico. Esta agua paulatinamente suplantó al agua local de las capas superiores del Polígono. En la figura 2 se muestra que la diferencia en la distribución vertical de la temperatura y salinidad en la capa superficial hasta el nivel de 120-130 m, en 1997, en comparación con el año 1996, aumentó de julio a diciembre. De julio a agosto el hundimiento de la termoclina fue comparativamente armonioso y la salinidad aumentó en forma casi lineal de 34 unidades de salinidad (uds)

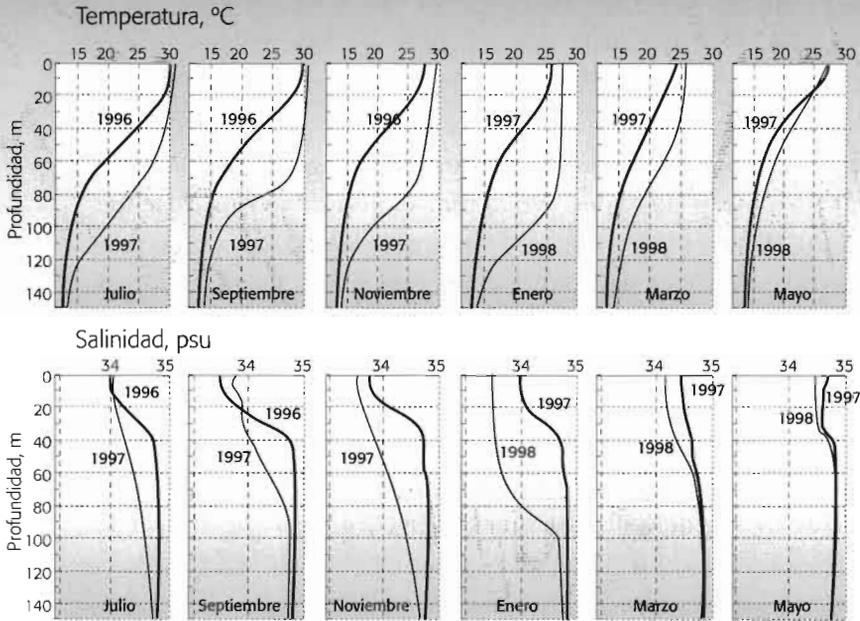


Figura 2. Los perfiles verticales medios de temperatura y salinidad en el Polígono con datos de los levantamientos oceanográficos mensuales de julio de 1996 hasta mayo de 1998.

en la superficie hasta 34.7 psu en el nivel de 150 m. En septiembre de 1997 con la llegada hacia el Polígono de considerables volúmenes de agua ecuatorial, en el perfil vertical de la temperatura se comenzó a formar una capa homogénea, el grosor de la cual paulatinamente aumentó en los meses de otoño. En diciembre de 1997 esta capa se encontró entre el agua superficial y el nivel de 70 m y tenía una temperatura de 28.5°C. En estos meses en la superficie del Polígono la salinidad paulatinamente disminuyó hasta 33.5 unidades de salinidad.

En septiembre esta infiltración se distribuyó en el nivel de los 95 m. El agua tenía una temperatura de 20.5°C y una salinidad de 35.1 psu. En los meses siguientes la salinidad de esta lengua disminuyó

como resultado de la mezcla con el agua local, y esto se observó claramente hasta febrero de 1998.

El máximo desarrollo de los efectos que ocasionó El Niño se presentó en enero de 1998. En ese mes el agua ecuatorial subsuperficial con temperatura cercana a 27.5°C y salinidad inferior a 34 uds cubrió toda la capa superficial hasta los 90 m en el Polígono. En comparación con esto, en enero de 1996 la temperatura en la superficie fue de 25.5°C, la termoclina comenzó en el nivel de los 25 m, y en la profundidad de 90 m la temperatura del agua fue de 15°C, y la salinidad cercana a 35 unidades.

En abril de 1998 el efecto de El Niño se debilitó y en mayo los *T-S* índices en el Polígono poco se diferenciaron de la media de ese mes del año. Únicamente en el nivel superior de 60 m la salinidad fue de 0.2-0.3 psu inferior a la norma. Es interesante aclarar que en abril y mayo de 1998 la delgada capa superior en el Polígono fue llenada de agua con *T-S* índices de la masa de agua superficial de la región de la Corriente de California ( $T=21^{\circ}\text{C}$ ,  $S=34.3$  uds). En promedio los perfiles de temperatura y salinidad para mayo de 1998 fueron cercanos a los perfiles de junio de 1996, lo que demuestra la terminación del ciclo de los procesos termodinámicos en el Polígono, provocados por El Niño 1997-1998.

---

## Conclusiones

Se confirma que en la capa activa del Océano Pacífico de la plataforma continental de la costa occidental de México existen grandes cambios del régimen hidrolimático, además de un fuerte intercambio del flujo de calor proveniente del océano. Debido a lo anterior tiene lugar un notable crecimiento de las anomalías positivas de la temperatura máxima del aire en toda la región de estudio, lo cual provoca prolongadas sequías y, por consiguiente, incendios forestales.

---

## Agradecimientos

Los autores expresan su sincero reconocimiento al M.C. Enrique Godínez Domínguez, del Centro de Ecología Costera de la Universidad de Guadalajara, y a la tripulación de la embarcación Bip-V, por su cons-

tante ayuda en la realización de mediciones en el mar. De la misma forma damos las gracias al técnico Daniel Kosanoy Aceves por la ayuda proporcionada en las mediciones con el CTD ondulante. El presente trabajo se realizó en el marco de los proyectos números 1449-PT y 5-080PÑ financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por lo que también le expresamos nuestro reconocimiento.

---

# INVESTIGACIÓN SOBRE LA MANIFESTACIÓN DE LA SEÑAL DE EL NIÑO EN EL OCCIDENTE DE MÉXICO

Irina E. Tereshchenko, Anatoliy E. Filonov, César O. Monzón y Arturo Figueroa M.

Universidad de Guadalajara (UdeG),  
Departamento de Física  
Apartado Postal 4-040  
44421 Guadalajara, Jal., México  
itereshc@ccip.udg.mx

---

## Introducción

**E**s indudable que existe un estrecho intercambio e interacción de los procesos atmosféricos y oceánicos, lo cual se produce en primer lugar por la energía que se transmite de un medio a otro. Por lo tanto, cualquier anomalía que se presente en la atmósfera o en el océano va a tener una respuesta. Este es el caso del evento conocido como El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), el cual propicia un desajuste importante en este acoplamiento océano-atmósfera. El fenómeno ENOS constituye la fuente más importante de variabilidad climática interanual a escala global; en ocasiones sus efectos son severos y prolongados, y es por eso que diversas agencias internacionales mantienen una estrecha vigilancia sobre su evolución.

Existen numerosos estudios sobre la repercusión de alcance mundial de ENOS. Dichos estudios muestran de forma general grandes alteraciones en el comportamiento de la precipitación, dando lugar a intensas sequías o aumentos extraordinarios de las lluvias en épocas de seca, además del desarrollo de fenómenos meteorológicos severos, como huracanes intensos o tormentas invernales de gran magnitud. La ocurrencia de ENOS es bastante irregular, esto es, su ciclo de aparición no es ordenado de acuerdo con la cronología existente.

En promedio, el evento ENOS ocurre cada 4 ó 5 años, pero con una desviación estándar muy grande. Después del intenso periodo de El Niño 1982-1983 y durante los últimos 20 años, se ha realizado un gran número de trabajos físicos por parte de investigadores de diferentes países. Un país como México, que territorialmente se ubica en las zonas tropical y subtropical, no puede dejar de ser afectado por este fenómeno natural. Algunos autores relacionan las fuertes sequías en el norte, las inundaciones en el sur y las oscilaciones del clima regional con los años Niño. De igual manera, también se relacionan los sistemas sinópticos que afectan al país y las manifestaciones que se presentan en las aguas costeras del Pacífico mexicano con el El Niño/Oscilación del Sur.

---

### **Objetivos del estudio**

Para el presente estudio se utilizaron series de tiempo de 49 y hasta 142 años de los valores promedios anuales y mensuales de la temperatura del aire y las precipitaciones atmosféricas de las estaciones meteorológicas de Guadalajara, Guanajuato, Chapala, Manzanillo, Mexicali, Ensenada, así como también las series de tiempo de las oscilaciones del nivel del lago de Chapala. El nivel del lago sirve como un indicador de los procesos integrales en el campo de la temperatura y las precipitaciones en el territorio de la cuenca Lerma-Chapala. Para identificar las periodicidades ocultas en las series de tiempo analizadas (incluyendo las posibles oscilaciones con periodos característicos de El Niño) se utilizó el análisis espectral cruzado.

Para el estudio de la manifestación de la señal de El Niño en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) se tomaron las mediciones horarias de temperatura del aire, humedad, y la velocidad y dirección del viento (enero 1996-diciembre 1998) de las ocho estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de Guadalajara (perteneciente a la Comisión Estatal de Ecología, Jalisco) a partir de estas series y para todas las estaciones se calcularon las curvas promedio mensuales del comportamiento diario para cada una de las magnitudes meteorológicas señaladas.

## Los resultados

Para todas las estaciones, los espectros energéticos de la temperatura y precipitación muestran picos de densidad espectral de uno a 11 años (con 90% del nivel de confianza). También se pueden apreciar claramente picos de densidad espectral cuyas frecuencias corresponden a los periodos anuales, semianuales y a sus sobretonos de alta frecuencia. Las altas densidades espectrales de energía se observaron en el diapasón de frecuencias de El Niño (periodos de dos hasta siete años), y en el diapasón de periodos característicos de la variación de la actividad solar (11 años).<sup>1</sup> Los espectros de las estaciones de Manzanillo, Mexicali y Ensenada se diferencian muchísimo uno del otro, tanto por el nivel de la disminución de la energía como por su forma. En Mexicali y Ensenada el espectro de densidad de la oscilación con periodos El Niño es casi de un orden de magnitud inferior que el de Manzanillo, lo cual se puede interpretar como el amortiguamiento de la amplitud de este fenómeno con la latitud. La serie de 142 años de las precipitaciones atmosféricas en Guanajuato permitió analizar las oscilaciones en la región de frecuencias más bajas (con periodos de 22 y 45 años). Se puede suponer que la aparición de periodicidades de 11, 22 y 45 años indican una relación de los parámetros hidrometeorológicos estudiados con la actividad solar. También se puede suponer que la interacción de dos estructuras oscilatorias como El Niño y la variación de la actividad solar conllevan a una modificación de la circulación de gran escala de la atmósfera, así como al surgimiento de fuertes anomalías climáticas en los campos de temperatura y precipitación. Los espectros energéticos de las series de tiempo de la temperatura, las precipitaciones y el nivel del lago de Chapala mostraron una estructura interna con una composición espectral parecida a la descrita para cada una de las localidades mencionadas con anterioridad. La variabilidad de baja frecuencia presentó periodos de

---

<sup>1</sup> En la literatura las oscilaciones con periodos de 8-11 años son conocidas como las fluctuaciones de la actividad polar magnética de las manchas solares, y son nombradas como la mitad del Ciclo de Heyla. Por estimaciones de algunos autores, la periodicidad de la variación puede diferenciarse en mucho del valor medio en 11.2 años y puede cambiar desde ocho hasta 14 años.

11 años y oscilaciones de El Niño con periodos de dos a cinco años.

Para este trabajo también se estudió la influencia de El Niño en la oscilación de la temperatura, la humedad relativa, y la velocidad y dirección del viento en la ZMG. Para fines comparativos se tomó el año de 1996 como referencia para comparar con el episodio de El Niño (1997-1998). De acuerdo con la información publicada en el *Monthly Ocean Report*, las anomalías de la temperatura superficial en la zona ecuatorial del Océano Pacífico fueron cercanas a cero. Por consiguiente, en la atmósfera y en el océano (y particularmente en la zona tropical del Océano Pacífico) las desviaciones de la norma fueron mínimas. Debido a que en los años 1997-1998 se observó El Niño, entonces la comparación de la distribución de las magnitudes meteorológicas para los años mencionados (enero 1996-diciembre 1998) permite determinar las desviaciones originadas por El Niño en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Al comparar la fluctuación diaria de estos valores en 1996 con el periodo 1997-1998 se muestran marcadas diferencias. En los años de El Niño el campo de la temperatura y la humedad relativa superó en gran medida el número diario de horas en que la temperatura fue mayor a los 24°, sin embargo, los valores de la humedad relativa fueron inferiores al 20%. En el campo de temperatura tal efecto es observado con mayor claridad desde el comienzo de marzo de 1998. Para el campo de la humedad relativa el fenómeno se observa desde finales de enero del mismo año. Durante ese mismo periodo se registró una estabilidad en la dirección del viento con un rumbo oeste-norte-oeste y un aumento de la velocidad del viento de hasta nueve metros por segundo.

Finalmente podemos concluir que es de gran interés estudiar el tipo de relación de la densidad espectral en la frecuencia de El Niño, como función de la latitud y longitud geográfica en los puntos distribuidos en el espacio. Hasta la fecha no es completamente clara una esquematización de la aparición de El Niño en el territorio de México y presenta un carácter indeterminado.

En lo sucesivo es necesario continuar las investigaciones sobre las peculiaridades del microclima de la ZMG durante el periodo del epi-

sodio de El Niño y después utilizando datos de la red de estaciones de COESE, la estación de radio sondeo, así como el uso de imágenes de satélite de alta resolución. La utilidad práctica de tales investigaciones sería la comprensión de las condiciones del clima urbano y subsecuentemente el avance en la predicción del clima local.

---

### **Agradecimientos**

Este trabajo fue realizado a partir de una investigación financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través del Proyecto núm. 081PÑ-1297 titulado Estudios del efecto de El Niño en la parte occidental de la meseta mexicana.

---

## **DERRAMES PLUVIALES COSTEROS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA Y SU POSIBLE DETECCIÓN MEDIANTE IMÁGENES DE COLOR DEL OCÉANO (SeaWiFS)**

Helmut Maske

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)  
Departamento de Ecología  
Apartado Postal 2732  
22880 Ensenada, B.C., México  
Scott Pegau y Andrew Barnard  
Oceanography  
Oregon State University  
Corvallis, Oregon, USA.

**E**n el noroeste de México, durante los periodos de El Niño, se era una precipitación por arriba del promedio. La relación entre El Niño y las lluvias está poco documentada pero es públicamente conocida y repetida por los medios de comunicación. Normalmente, el clima en la península de Baja California y la costa continental del Golfo de California es árido y su tierra seca no puede absorber las aguas de las lluvias fuertes. La elevada precipitación durante El Niño no penetra fácilmente en la tierra y gran parte del volumen del agua escurre superficialmente. Esta agua forma inundaciones repentinas que pueden producir “avenidas”, por ejemplo, flujos repentinos en arroyos. En zonas áridas estas avenidas tienen tiempos de existencia de sólo pocas horas y por su ocurrencia irregular existe poca información sobre lugares y frecuencia de la descarga de ellas. Además, en las costas de Baja California hay escasa información por la poca accesibilidad al no haber una red carretera extensa. Se supone que en tiempos de El Niño las descargas de aguas pluviales en las costas de Baja California son más frecuentes. El conocimiento de la frecuencia y lugar de los derrames pluviales es importante porque se puede estimar la cantidad de agua dulce transportada, la erosión asociada con el derrame y la introducción local de nutrientes inorgánicos en el Gol-

fo de California. El proyecto que se ha venido llevando a cabo intentaba realizar y estimar la magnitud de los derrames pluviales en la zona costera de dicho Golfo, por las imágenes semanales del color del agua tomadas por el sensor remoto SeaWiFS instalado en el satélite Orb-View2 (véase la página de SeaWiFS: <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html>).

Las aguas de derrames pluviales costeros tienen una alta concentración de materia orgánica disuelta y colorada (CMOD), también conocidas como sustancias amarillas por su espectro de absorción que imparte su máxima absorción en longitudes de ondas cortas del espectro de luz visible. Se han encontrado altas concentraciones de materia orgánica disuelta en los océanos cerca de estuarios, por ejemplo, en las desembocaduras de los ríos Mississippi, Orinoco, San Lorenzo y en las zonas costeras de Europa. La materia orgánica disuelta de origen terrestre se puede detectar en todas las aguas oceánicas y tiene una vida media de menos de 130 años.

¿Cómo se puede detectar la materia orgánica en el mar por medio de la medición del color de éste visto desde el espacio? El color del océano está compuesto de la luz que sale desde adentro del mar. Esta luz de origen solar ( $E_d$ ) entra al mar y a cierta profundidad es reflejada por las moléculas del agua o por las partículas suspendidas en el agua. En el trayecto de la luz solar hacia abajo (y también en el trayecto después de la reflexión hacia arriba), la absorción por el agua, los pigmentos o la materia orgánica disminuye la luz. La luz que sale del mar hacia arriba ( $E_u$ ) es sólo cercana al 1% de la luz que entra. El espectro de  $E_u$  cambia de una manera típica dependiendo de la concentración de los pigmentos y la materia orgánica. El sensor SeaWiFS detecta una parte de la luz  $E_u$  en seis diferentes canales espectrales en el espectro visible. Se puede usar la relación entre la señal de diferentes canales para estimar la concentración de pigmentos o materia orgánica. Se esperaría que específicamente el canal a 412nm sería útil para detectar el CMOD en el mar, porque a esa longitud de onda este último tiene una absorción más alta que los otros componentes disueltos en el mar.

Para encontrar una señal útil de derrames pluviales en la costa hay

que cumplir con varios requisitos como condiciones naturales y técnicas necesarias:

- Condiciones naturales necesarias para facilitar la detección: a) el derrame de aguas pluviales debe estar localizado en ciertos puntos (bocas de arroyos); b) el agua del derrame debe tener una concentración de materia orgánica significativamente por arriba de la concentración del agua oceánica; c) el derrame debe formar una capa delgada superficial con una extensión horizontal suficientemente larga para cubrir más que un pixel; d) la capa delgada debe tener un tiempo de vida suficientemente largo como (más de 24 horas) para posibilitar la toma de imágenes; e) la concentración base de materia orgánica en el océano debe tener poca variación horizontal y carecer de gradiente de concentración perpendicular a la costa; f) las concentraciones de materia orgánica y pigmentos fotosintéticos no deben estar correlacionadas, y g) las aguas costeras deberán ser lo suficientemente profundas para evitar que la reflectancia del sedimento contribuya significativamente a la radiancia superficial.
- Condiciones técnicas para facilitar la detección: a) que haya suficiente diferencia espectral entre la señal de sustancias amarillas y la de pigmentos fotosintéticos, para facilitar la detección independiente; b) que no haya cambios en la calidad óptica de la atmósfera a pequeña escala cerca de la costa, y c) que imágenes de alta resolución horizontal (iguales o de menos de un km) estén disponibles.

Para este proyecto se participó en cuatro cruceros con el barco de investigación Francisco de Ulloa en el Golfo de California, durante dos semanas cada uno. En estos cruceros se intentó tomar muestras de aguas superficiales de diferentes características ópticas para establecer una base de datos de características de fondo. En los cruceros se realizaron mediciones radiométricas superficiales con la finalidad de calibrar la señal recibida por el sensor SeaWiFS, específicamente el canal a 412nm. De una manera general no se encontró un gran rango de concentraciones de materia orgánica disuelta *in situ* a 412nm en aguas

superficiales, tampoco mostró covariación con la concentración de clorofila. La CMOD representa una variable con concentraciones de fondo relativamente estable, lo cual es una condición favorable para la detección de derrames pluviales.

En el laboratorio de Óptica Ambiental y Oceanografía, de la Universidad Estatal de Oregon, se revisaron las imágenes del Golfo de California por medio del SeaWiFS. Se buscaron cerca de la costa patrones locales de baja radiación superficial ascendente (nLw) a 412nm, distintos a los patrones de alta concentración de clorofila *a* o a los aerosoles, utilizando el canal a 865nm. Se emplearon de preferencia imágenes después de eventos de tormentas tropicales o huracanes con alta probabilidad de precipitación. Muchos datos de las imágenes de la radiancia superficial a 412nm tenían valores negativos y obviamente resultaban inútiles. El origen del problema es la corrección atmosférica de los datos. Esto se debe al tipo de aerosol que se encuentra sobre el Golfo con alto contenido de polvo desértico. Hay que recordar que en el azul la contribución de la radiancia de origen aerosol es de aproximadamente 90%, y para estimar esta radiancia hay que utilizar las radiancias en el infrarrojo (770 y 870nm) y extrapolar la radiancia esperada hasta el azul. Entre más lejano esté el canal de interés espectral del origen de la información para la corrección atmosférica, más errónea resultará la estimación de corrección del canal de interés. El problema es particularmente grave en el Golfo de California, porque el polvo desértico en la atmósfera tiene absorción significativa. Esta absorción aumenta mucho hacia el azul y produce espectros difíciles de pronosticar. Además, el carácter del aerosol sobre dicho Golfo es muy variable, pues parece que cambia notablemente después de tormentas tropicales.

Existe otro problema, los detectores individuales de los canales espectrales reciben haz desviada, específicamente si hay alta radiancia del lado estribor del satélite, por ejemplo, del oeste (el satélite viaja del norte hacia el sur). Este problema resulta en datos no confiables en las costas al lado oeste de los océanos, porque la reflectancia de la tierra es alrededor de 10 veces más elevada que la del mar. El ancho de

la banda de los datos no confiables es cercana a los cinco km sobre el océano costero.

Recientemente hemos buscado una manera alternativa para detectar derrames pluviales mediante su contenido de partículas suspendidas ( $S$ ). Éstas aumentan la reflectancia en el infrarrojo particularmente a 675nm, cerca de los canales espectrales donde se obtiene la corrección atmosférica. Por la cercanía espectral, el error en la corrección es pequeño. Hasta ahora hemos aplicado un algoritmo muy sencillo:  $S = f [(L675nm \times L870nm)/(L770nm)^2]$ . Las primeras pruebas indican que este algoritmo produce patrones regionales que tal vez estén relacionados con partículas suspendidas. El algoritmo probablemente no pueda dar estimaciones cuantitativas, porque el resultado depende de la pendiente de la contribución atmosférica contra la longitud de onda de los canales.

---

## EL NIÑO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Miguel Ángel Alatorre Mendieta

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

**E**l capitán Baqueiro del transbordador Guaycura y yo contemplábamos absortos la gráfica que se iba desplegando en la computadora, mientras nuestro colega Ángel Jiménez permanecía en el exterior, en la banda de estribor, con la “pistola” lanzadora de termómetros sumergibles. Era la una de la mañana, soplaban un fuerte viento del noroeste y el barco iniciaba su trayecto a través del Golfo de California.

Esta aventura científica se había iniciado años atrás, cuando un grupo de oceanógrafos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas de La Paz planeamos utilizar los barcos transbordadores para medir la temperatura del mar hacia las profundidades. Los transbordadores cruzan a diario el Golfo de California para abastecer a la ciudad de La Paz, B.C.S.

La mejor forma de investigar el mar es a bordo de barcos oceanográficos diseñados para ello, aunque también se utilizan batiscafos, aviones, satélites, buzos, aparatos anclados al fondo o a la deriva, estaciones en la orilla del mar y barcos que realicen recorridos fijos. Los aparatos que se emplean para registrar datos del mar son en muchas ocasiones portentos de ingenio, ya que el mar difícilmente revela sus secretos.

En la actualidad se cuenta con un banco de datos de millones de mediciones en el mar que se han registrado en alrededor de casi 100 años, que es la edad de la oceanografía como ciencia. Actualmente ya se conoce en forma general cómo es la estructura del océano. En el caso de la temperatura, por ejemplo, se sabe que la máxima es de alrededor de 30°C y ocurre en los trópicos como en los mares mexicanos, y la mínima en los polos nunca es menor a dos grados bajo cero, porque el agua se congelaría. En una columna de agua hay una capa “caliente” de la superficie, hasta aproximadamente 100 m, que es la profundidad a la que llega la luz del sol y después hay varias capas frías de diferente origen. El fondo tiene un promedio de cuatro mil metros y su temperatura media está entre 3 y 5°C.

En el sur del Golfo de California, durante el verano, la capa de agua superficial de hasta 150 m viene del sur, desde el Ecuador, y en el invierno una parte proviene del interior del Golfo, y otra desde Alaska, transportada por la Corriente de California, que recorre la costa oeste de la península.

Medir la temperatura hacia el fondo es un reto, ya que si se sumerge un termómetro éste medirá correctamente la temperatura pero al subirlo se modificará el valor. Para resolver este problema se han inventado termómetros con “memoria” y termómetros electrónicos que envían los datos por un cable hasta la superficie.

Un termómetro de este tipo tiene el rimbombante nombre de “batitermógrafo desechable” o “XBT” que significa lo siguiente: bati es el prefijo de profundidad, grafos, gráfica, y “desechable”, que no se recupera. Cada XBT cuesta alrededor de 600 pesos y registra la temperatura hasta una profundidad de 760 m. Este aparato, como lo muestra la figura 1, es un termómetro electrónico (termistor) que mantiene todo el tiempo contacto con la computadora por medio de un alambre muy delgado que se desenrolla rapidísimo de su carrete conforme el barco avanza y el termómetro se sumerge. Cuando se termina el alambre del carrete, el termómetro se va al fondo y se pierde, pero se conservan los datos. El XBT tiene la gran ventaja de que se lanza en movimiento, el barco no se detiene, lo que representa un ahorro de miles de pesos y además funciona aun en tiempos borrascosos.

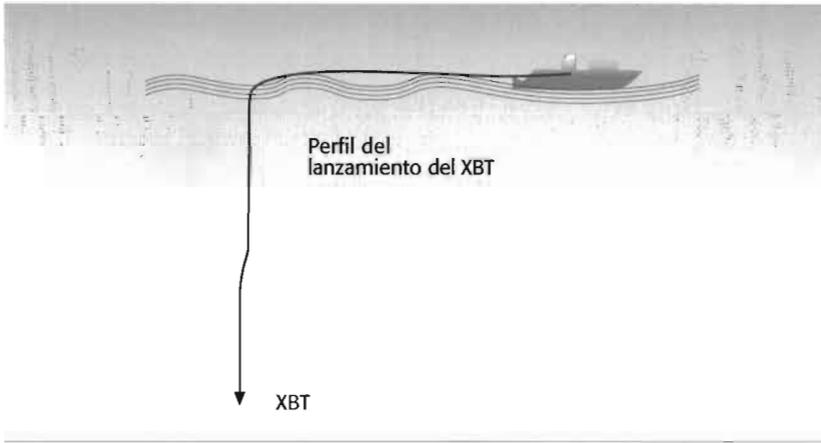


Figura 2. Batitermógrafo desechable XBT.

Estos datos se analizan conjuntamente con otras mediciones para investigar los efectos de fenómenos de gran escala, como el famoso El Niño de mediados de 1997 a mediados de 1998. Cuando se presentó este fenómeno, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) financió un proyecto para “lanzar al mar” el XBT con mucha frecuencia en tanto prevaleciera dicho fenómeno y sus secuelas.

Para hacer estas mediciones en los transbordadores, contamos con el apoyo del capitán Luis Castillo, gerente de operaciones de Sematur, la compañía que opera los transbordadores. Él había sido capitán del barco oceanográfico Justo Sierra de la UNAM y ya se había percatado que los oceanógrafos siempre están ideando formas muy extrañas para realizar sus mediciones, usan aparatos complejos y los recorridos casi nunca son en línea recta.

Otro obstáculo a resolver era cómo explicar a las policías fiscal y aduanal y al ejército, que vigilan los puertos, el transporte de estos aparatos que semejan proyectiles y que, además, no llegan a su destino. Por fortuna la prensa ya había dado a conocer los “daños causados por El Niño” y eso facilitó el paso.

A las 10 de la noche el barco zarpó de Pichilingue con rumbo hacia Topolobampo, Sin. Sus pasajeros eran principalmente choferes de los remolques que transportaba el barco.

Llevábamos con nosotros como referencia una serie de datos his-

tóricos. El primer recorrido de investigación en el Golfo de California lo realizó H. Sverdrup, uno de los precursores de la oceanografía, en 1939. Cuando observamos la gráfica del primer XBT, nos dimos cuenta de que El Niño había llegado a esta zona, ya que el agua estaba más caliente de lo normal. En la gráfica de la figura 2 se muestra cómo la línea de temperatura está corrida a la derecha por casi cuatro grados y que su influencia llega hasta 300 m de profundidad. Esto representa una enorme cantidad de energía calorífica que tarde o temprano el océano debe regresar a la atmósfera, provocando los cambios climáticos.

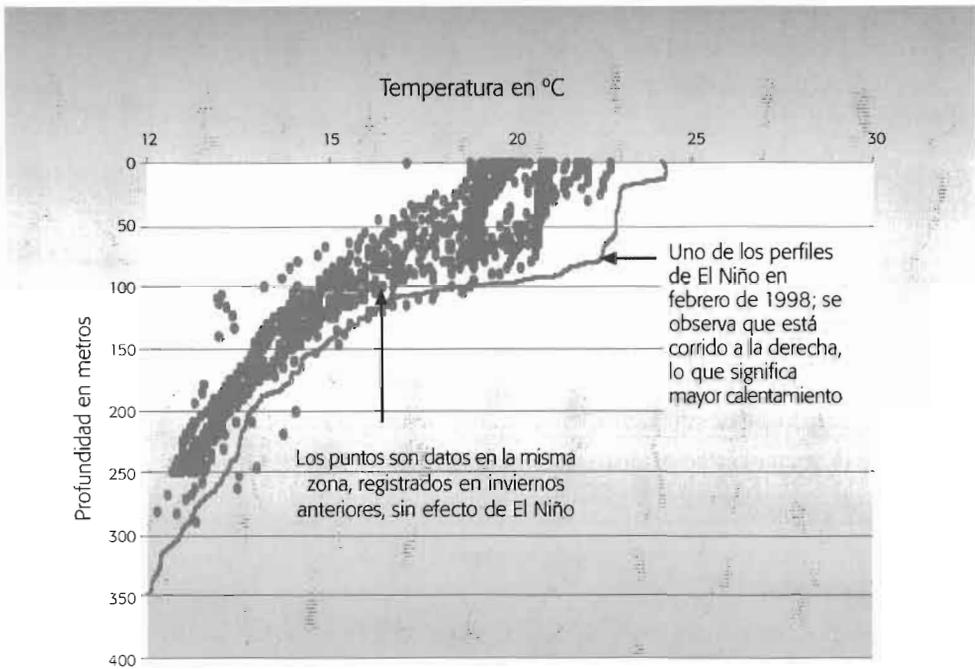


Figura 3. Perfil de temperatura.

Más adelante, en nuestro recorrido, sucedió que cuando el termómetro se hundía a 100 m de profundidad la temperatura empezó a aumentar (hecho insólito) y a variar erráticamente hasta perderse la señal. Intuimos lo que estaba sucediendo, salimos a la cubierta y vimos a un chofer con el hilo conductor en la mano. Resulta que salió

a tomar el aire fresco, y al ver un hilo brillante le dio curiosidad y lo sujetó, interrumpiendo la transmisión. Nos dio mucha risa pues esto suele suceder; le explicamos que se trataba de un experimento, aunque creo que no fuimos muy convincentes por su expresión; por nuestra parte repetiríamos la medición durante el recorrido de retorno a La Paz, al día siguiente.

Al regreso nos esperaba nuestro colega Bernardo Shirazago con unas imágenes de satélite de temperatura superficial de esos días, en las que se mostraba cómo la superficie del mar durante el recorrido había sido más caliente de lo normal en toda esta zona. Conjuntando nuestros datos con los registrados por otros investigadores en zonas cercanas, pudimos confirmar que lo que medimos fue que el efecto de El Niño había entrado en el Golfo de California.

---

### **Colofón**

Este Niño fue uno de los más intensos registrados en el pasado siglo. A mediados de 1998 se presentó un efecto inverso, o sea, un enfriamiento ligero respecto a lo normal de las aguas superficiales. A este fenómeno algunos científicos lo llaman La Niña y no siempre se presenta después de un Niño. En cuanto a las mediciones, se han seguido realizando principalmente en el transbordador Guaycura con la idea de detectar el nacimiento del siguiente Niño o de registrar otros fenómenos de gran escala que ocurran en esta zona.

---

### **Agradecimientos**

Expresamos nuestro reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, organismo que financió este proyecto, cuyo número es el 054PÑ-129.

---

## **II. EL REGISTRO HISTÓRICO Y LA PREDICCIÓN**



---

# ¿PUEDEN LOS ÁRBOLES CONTAR LA HISTORIA DE LA PRECIPITACIÓN Y DEL FENÓMENO EL NIÑO?

Nora Martijena

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)  
22880 Ensenada, B.C.

---

## Introducción

**M**éxico no escapa a los efectos del fenómeno conocido como El Niño/Oscilación del Sur (ENOS). En el caso del norte de Baja California, algunos años de ENOS registran precipitaciones que rebasan hasta en 400% a las que normalmente ocurren, mientras que en el año posterior a estos eventos suele presentarse una marcada escasez de lluvias. Estas variaciones climáticas impactan el suministro de agua para el consumo humano y para las actividades agropecuarias en la costa. Por otro lado, los años de grandes precipitaciones generan problemas de inundaciones, erosión y deslaves de suelo. Ello ha generado un interés creciente en estimar la frecuencia con que estos eventos ocurren a fin de poder mejorar la planificación a largo plazo. Sin embargo, sólo se cuenta con registros instrumentales por periodos muy cortos o muy incompletos para conocer la historia pasada de la precipitación y entender sus patrones de variabilidad.

Esta falta de datos instrumentales puede ser suplida usando otras fuentes de información, como los escritos históricos, si bien en estos casos no existe un registro continuo. Otra opción es usar datos sustitutos (*proxis*) que no surgen de una medición directa de la precipitación o de ENOS, sino de la medición de otro proceso que es influido

por ellos. Esto representa información indirecta. Tal es el caso del uso de los anillos de crecimiento de los árboles, sensibles al clima, para realizar reconstrucciones de la variabilidad climática o de eventos particulares en el pasado. Este método tiene grandes ventajas: los registros son anuales, continuos, de varias décadas a siglos de longitud y representan sitios bien definidos.

Esta aproximación “dendrocronológica” fue la seguida en el caso Baja California, ya que los registros meteorológicos confiables empiezan hasta después de 1950. Consecuentemente, se colectaron muestras de madera de diferentes especies de pinos crecidos en las sierras de Baja California, y se evaluó su uso como registros sustitutos para reconstruir la historia pasada de la precipitación en la región y del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur.

---

## **Métodos**

Ciertas especies de árboles forman anillos de crecimiento en las regiones donde la estacionalidad del clima es marcada. En muchos casos, si el anillo de crecimiento corresponde a un año del calendario, es posible determinar el año exacto en que el anillo fue formado (datación o fechamiento). Por ejemplo, el anillo más externo corresponderá, en la mayoría de los casos, a la última estación de crecimiento del árbol. El anillo previo, más hacia el centro del tronco del árbol, se habrá formado en la temporada de crecimiento del año anterior al que se formó el anillo más externo, y así sucesivamente.

Cuando el crecimiento del árbol, reflejado en el ancho de los anillos anuales, es principalmente una respuesta al clima, se dice que el árbol es “sensible” y puede ser empleado para reconstruir el clima del pasado. El árbol habrá formado anillos delgados de crecimiento cuando las condiciones ambientales no fueron las adecuadas, y anillos anchos cuando las condiciones fueron las óptimas.

Una secuencia de varios anillos puede mostrar características que permiten reconocer esa secuencia particular en distintos árboles de una misma zona (cofechado o sincronización), a pesar de que las tasas absolutas de crecimiento de dichos árboles hayan sido diferentes. La serie completa de valores del ancho de cada anillo en un radio del

árbol puede ser convertida en un índice adimensional (estandarización) que resalta la historia de cambios en el crecimiento del árbol de año en año. El promedio de los índices de diferentes árboles es lo que se conoce como una cronología, donde se puede apreciar cómo varió, a lo largo del tiempo, el crecimiento promedio de esos árboles en dicha zona.

Al utilizar datos instrumentales de las últimas décadas, se puede determinar cuál es el factor ambiental que más afecta el crecimiento (temperatura, precipitación, disponibilidad de agua en el suelo, etc.). Si identificamos una adecuada relación matemática (calibración), se pueden interpretar los cambios en el ancho de los anillos como un registro histórico de la variación que dicho factor ambiental ha tenido en el pasado. Así, haciendo uso de tal formulación matemática, la cronología puede ser traducida, por ejemplo, en una historia de la variación de la precipitación o de ENOS (reconstrucción) y, a partir de ella, estimar la frecuencia de eventos fuertes y débiles en el pasado.

---

## Resultados y conclusiones

En el caso que nos ocupa se lograron construir cinco cronologías, cada una en un sitio diferente; tres de ellas con pinos piñoneros (*Pinus quadrifolia*) y otras dos con pinos Jeffrey (*Pinus jeffreyi*). Las cronologías tuvieron diferente longitud en el tiempo, de acuerdo con la edad de los pinos que se usaron para construirlas (entre 93 y 224 años). Una de las cronologías sirvió para actualizar otra ya existente (La Tasajera, Sierra de San Pedro Mártir), realizada por M. A. Stokes, T. Harlan y S. Clemans, de la Universidad de Arizona en 1971, por lo que la cronología final resultó de una longitud de 551 años, iniciando en 1447 y acabando en 1998.

Todas las cronologías fueron sensibles a la precipitación, es decir, de seis y un 56% de la variación en el crecimiento, medido como el ancho de los anillos, se debió a la variación en la precipitación. Esto se pudo establecer al observar que los últimos 48 anillos de cada cronología se correlacionaron significativamente con las variaciones anuales del registro de precipitación (1951-1998, ciudad de Ensenada).

En la figura 1 se puede observar la reconstrucción de la precipitación en la última centuria, a partir de una de las cinco cronologías (la de los pinos piñoneros de la Sierra Blanca). Se puede apreciar que hay una buena correspondencia, en el periodo de calibración (1949-1998), entre la precipitación registrada por los pluviómetros y la estimada, utilizando la información contenida en los anillos de crecimiento de los pinos. Según un proceso de verificación cruzada, el modelo de reconstrucción explica un 53% de la varianza en la precipitación. Ello señala como confiable la reconstrucción de la precipitación del periodo anterior a 1951, del que no se cuenta con registro instrumental continuo.

Siendo que la precipitación pasada ha sido influida por el fenómeno ENOS, se halló que las cronologías también contenían información sobre dicho fenómeno. Al comparar los eventos ENOS reconstruidos por la misma cronología de Sierra Blanca, con los identificados como tales en una revisión exhaustiva de documentos históricos escritos (Quinn *et al.*), se encontró un 82% de concordancia entre ambos.

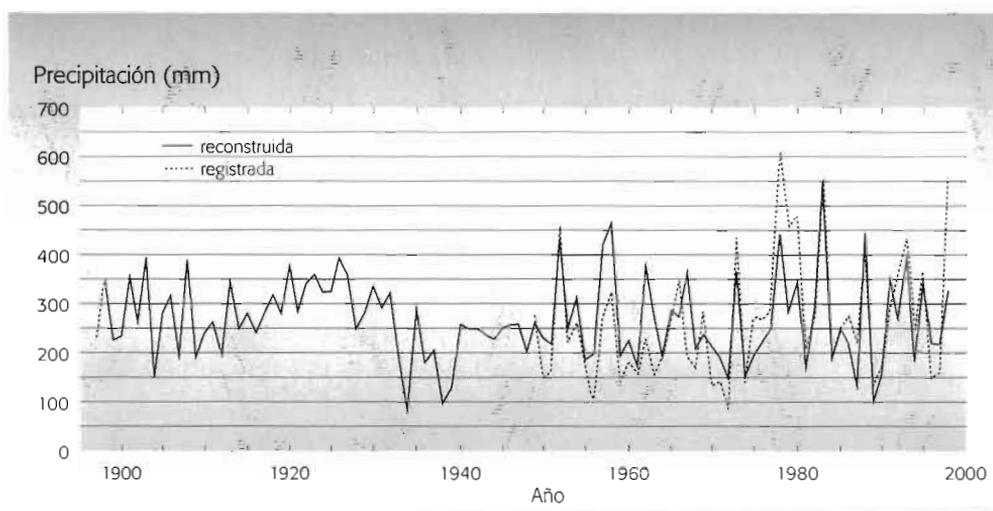


Figura 1. La precipitación de los meses de septiembre a mayo registrada en Ensenada (Baja California) y reconstruida con los anillos de crecimiento de los pinos piñoneros de la Sierra Blanca. La precipitación reconstruida para 1998 es menor a la real, debido a que los pinos no habían acabado su crecimiento cuando se realizó el muestreo de sus anillos.

Entre las diferentes cronologías, la intensidad de la señal climática contenida en los anillos varió, señalando la importancia de evaluar nuevos sitios y otras especies para poder contar con una red regional de cronologías sensibles.

México es muy rico en especies de pinos y de encinos, los cuales han sido usados como herramientas dendrocronológicas en el mundo. Sin embargo, es hasta años recientes que se ha despertado un creciente interés en la construcción de cronologías, las cuales han probado ser muy sensibles al clima y una herramienta eficaz en el desarrollo de reconstrucciones como las presentadas aquí. Antes de seguir con la tasa actual de deforestación, los bosques no sólo deberían ser vistos como esenciales en el mantenimiento de las funciones en los ecosistemas, sino también como importantes fuentes de información confiable sobre la historia ambiental pasada.

---

**Referencias:**

- Quinn, W.H.; V.T. Neal and S.E. Antúnez de Mayolo. "El Niño Occurrences over the Past Four and a Half Centuries", *J. Geophys. Res.*, 92(C13), 1987, pp. 14449-14461.

---

# **ANÁLISIS Y PRONÓSTICO DE LA OCURRENCIA DEL FENÓMENO EL NIÑO/OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS) Y DE SUS POSIBLES IMPACTOS EN MÉXICO**

Jorge Sánchez Sesma

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac 8532  
62550 Jiutepec, Mor., México  
jsanchez@tlaloc.imta.mx

---

## **Resumen**

**E**NOS es considerado el fenómeno climático más importante del mundo. Tomando en cuenta la posible existencia de oscilaciones periódicas seculares para los valores de ENOS, un modelo simple para el pronóstico es propuesto. Un modelo de componentes periódicas ha sido utilizado para pronosticar un periodo de 50 años, basado en datos de cientos de años. Los datos base del pronóstico fueron previamente calibrados con un registro instrumental. Los resultados, que son congruentes con los obtenidos mediante diferentes métodos, sugieren que el periodo de máxima ocurrencia, intensidad y duración de los eventos ENOS, donde nos encontramos justo ahora, podría continuar una década más.

---

## **Introducción**

Los últimos dos decenios serán recordados por sus intensos y frecuentes eventos ENOS. Los eventos 1982-1983 y 1991-1995 fueron los más severos y largos del siglo XX, respectivamente, y el de 1997-1998 casi tan fuerte como el de 1982-1983. Basado en información histórica, Quinn (1992) ha sido capaz de inferir la intensidad y duración

de los eventos ENOS durante los últimos cinco siglos, las cuales muestran varios periodos con esta clase de eventos.

Al considerar que otros estudios han detectado también ciclos de larga duración asociados a ENOS –por ejemplo, Anderson (1990), Fairbridge (1984), y Halfman y Johnson (1988)– el estudio de las variaciones del clima y de la actividad geofísica en esas escalas temporales es esencial para mejorar su entendimiento. Este trabajo presenta un modelo simple de la variación temporal de ENOS que permite pronosticar su ocurrencia.

### **Método**

Un modelo temporal basado en el análisis espectral fue desarrollado para pronosticar el comportamiento de ENOS. El análisis espectral utilizó la transformada de Fourier (TF); para señales discretas se empleó la Transformada de Fourier Discreta (TFD). Es posible demostrar que la TFD permite el cálculo de valores en el dominio de la frecuencia de una manera continua como lo hace la TF (Sánchez Sesma, 2000).

Si se toma en cuenta la posible existencia de oscilaciones periódicas en las variables climáticas, se considera conveniente usar un modelo periódico simple, el cual es descrito con la expresión siguiente:

$$C(t_i) = \sum_1^{nter} a_j \sin(\omega_j t_i + \varphi_j) + e(t_i)$$

donde  $\omega$  es la frecuencia,  $\varphi$  es la fase,  $t$  es el tiempo,  $C$  es el valor de las variables climáticas e hidrológicas asociadas con ENOS,  $e$  es el error del modelo, y  $a$  es la amplitud de las componentes periódicas. El subíndice  $i$  indica el número del intervalo temporal, y  $j$  el número de la componente periódica. Las frecuencias son estimadas con la TFD aplicada continuamente y las amplitudes son estimadas con regresión lineal múltiple.

Un método complementario para la predicción climática es usado para verificar el primero. Este es el llamado método análogo que

plantea que el clima se ha comportado en el pasado de forma tal que las actuales condiciones, si son similares a las ocurridas en el pasado, se repetirán en el presente como en la situación temprana (Namias, 1983). Este método consiste en: a) detectar un periodo análogo de la última parte del registro climático, utilizando transformaciones lineales y minimización de errores, y b) aplicando las mismas transformaciones para el periodo posterior al detectado para pronosticar el periodo futuro.

---

### **Datos**

Existen diversos registros instrumentales para ENOS. Los que se van a utilizar en este trabajo son el Índice de la Oscilación del Sur (IOS) y el registro de Quinn (RQ).

Los valores del IOS, que se relacionan con la variación atmosférica, son la diferencia normalizada de presiones entre Tahití y Darwin. Aunque el registro instrumental existe desde 1882 al presente, algunos investigadores están trabajando para extender ese registro hacia el pasado, tal como Ropelewski y Jones (1987) y Können *et al.* (1998). En lo que sigue, una modificación al IOS será utilizada para que se consideren sólo eventos EN. Esto se obtiene haciendo nulos los valores positivos del registro del IOS y cambiando el signo de los valores negativos. Este registro será referido como IOS-EN.

Al considerar los eventos climáticos e hidrológicos anormales alrededor del mundo, Quinn (1992) ha detectado la ocurrencia de eventos ENOS y ha inferido su intensidad para los últimos 500 años, en el RQ.

---

### **Resultados**

El registro instrumental IOS-EN para el periodo 1882-1997 fue utilizado como una base para la calibración del RQ. Estimaciones cuantitativas de los valores medios mensuales del IOS-EN para los cinco principales niveles cualitativos del RQ: moderado, arriba del moderado, fuerte, arriba del fuerte y muy fuerte, fueron hechas: 0.94, 1.05, 1.15, 1.24 y 1.63, respectivamente. La figura 1 muestra el RQ calibrado (RQC). La bondad de la calibración fue medida por el coefi-

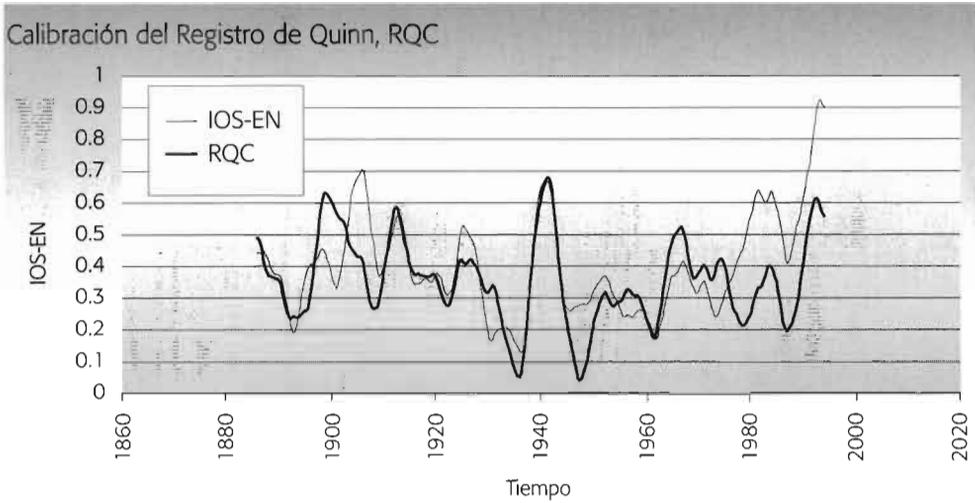


Figura 1. Calibración del RQ. Registro IOS-EN (línea delgada), y RQ calibrado, RQC (línea gruesa). La correlación entre esos registros es de 0.68.

ciente de correlación de 0.68 entre el RQC y el IOS-EN. La calibración se obtuvo utilizando un promedio móvil de tres años para ambos registros.

Dos predicciones fueron hechas con el mismo RQC para EN. Primera: después de haber sido validado con el pronóstico del periodo 1950-1994, en el que el modelo explica el 70% de la varianza del RQC, una predicción con base espectral fue hecha por un periodo de 50 años (1990-2050), véanse figuras 2 y 3 en las siguientes páginas. Los valores del RQC de los últimos 300 años fueron usados para ajustar un modelo de 15 componentes senoidales para predecir la actividad de ENOS. Segunda: una predicción análoga fue desarrollada para un periodo de 26 años (1994-2020), véase figura 3. Esta predicción fue desarrollada mediante la detección de un periodo análogo (1767-1781) al más reciente (1980-1994), que muestra un coeficiente de correlación de 0.88 para el RQC entre esos periodos (0.95 en la primera mitad del periodo). Debe notarse que las dos predicciones hechas muestran una buena concordancia, expresada en un coeficiente de correlación de 0.68 para el periodo común 1994-2020.

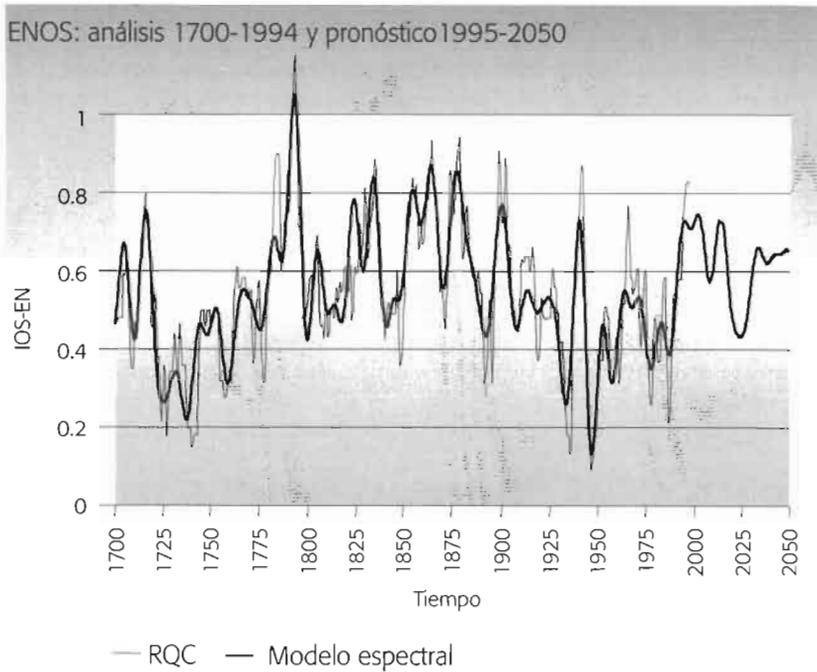


Figura 2. El RQ calibrado, RQC, y su modelo espectral de actividad. El periodo base es 1700-1900 y el periodo pronosticado es 1990-2050.

Los resultados para la actividad de ENOS, predicha para el periodo 1995-2050, muestran varios niveles de actividad. Los periodos con mayor actividad que los valores medios son 1995-2018, 2025-2028 y 2040-2050. Es importante subrayar que hay un tercer pronóstico de largo plazo para la actividad de ENOS hecho por Fairbridge (1999), el cual predice para el periodo 2002-2006 un grupo de El Niño.

### Recomendaciones

Debe continuarse el estudio de la ocurrencia de ENOS en las décadas recientes, teniendo en cuenta las historias correspondientes, registradas o inferidas, en los periodos que cubran los últimos siglos. Las oscilaciones cíclicas de baja frecuencia están presentes en la historia de ENOS y de otras variables geofísicas. A pesar de tener mejor in-

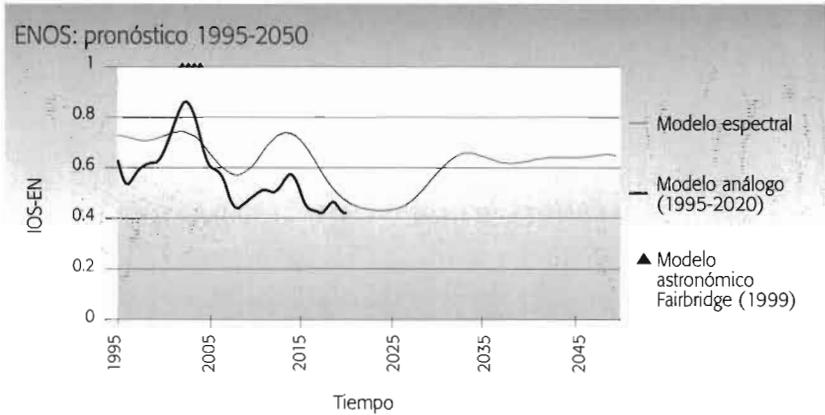


Figura 3. Comparación del pronóstico de ENOS obtenida por diferentes modelos: espectral y análogo (una transformación lineal del RQC retrasada 213 años), y astronómico (Fairbridge 1999).

formación, conocimiento y modelos de ENOS, es necesario continuar los esfuerzos que se han iniciado para mejorar las bases informativas directas e indirectas del clima en México que nos permitan mejorar la confiabilidad de los resultados.

### Agradecimientos

El autor expresa su reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Comisión Nacional del Agua por dar apoyo a los proyectos de investigación 067PN-1297 y TH-9914, respectivamente.

### Referencias

- Anderson, R.Y. "Solar Cycle Modulations of ENSO. A Possible Source of Climatic Change" (ed. by J.L. Betancourt & A.M. McKay), *Proc. 6th Pacific Climate Workshop (PACLIM)*, California Department of Water Resources, *Technical Report*, 23, 1990, pp. 77-82.
- Fairbridge, R.W., Personal Communication, November 11<sup>th</sup>, 1999. \_\_\_\_\_, "The Nile Floods as a Global Climate Solar Proxy"

- (ed. by A. Mörner and W. Karlen), *Climatic Change on a Yearly and Millennial Basis*, Dordrecht, 1984, pp. 181-190.
- Halfman, J.D., and Johnson, T.C. "High Resolution Record of Cyclic Climate Change during the Past 4ka from Lake Turkana, Kenya", *Geology*, 16, 1988, pp. 496-500.
- Können, G.P.; Jones, P.D.; Kaltofen, M.H., and Allan, R.J. "Pre-1866 Extensions of the Southern Oscillation Index Using Early Indonesian and Tahitian Meteorological Readings", *J. Climate*, 1998.
- Namias, J. "Short Period Climatic Variations", *Collected Works of J. Namias*, vol. III, UCSD, 1983.
- Quinn, W.H. "A study of Southern Oscillation-related Climatic Variability for 622-1900 A.D. Incorporating Nile River Flood Data" (ed. by H.F. Díaz and V. Markgraf), *El Niño: History and Paleoclimate Aspects of the Southern Oscillation*, Cambridge University Press, 1992.
- Ropelewski, C.F., and Jones, P.D. "An Extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index", *Monthly Weather Review* 115, 1987, pp. 2161-2165.
- Sánchez Sesma, J. "A Complete Climatic Spectrum" (enviado para su publicación en el 2000).

---

### **III. DISPONIBILIDAD DE AGUA Y SEQUÍA**



---

# ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS EFECTOS DE EL NIÑO 1997-1998 EN TIJUANA, B.C.

Alain Winckell,<sup>1</sup> Michel Le Page<sup>1</sup> y Rafael Vela<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Paris, France

<sup>2</sup> El Colegio de La Frontera Norte (Colef), Tijuana, B.C.

---

## Objetivos

**L**a ciudad de Tijuana, debido a su posición fronteriza y sus características de desarrollo económico, ha presentado un crecimiento urbano acelerado desde los años cincuenta. La ausencia de una verdadera planificación y las difíciles condiciones fisiográficas del sitio han propiciado un sinnúmero de riesgos para la comunidad. Las lluvias y los fenómenos hídricos relacionados constituyen los más importantes, y sus recurrencias en la región han ocasionado pérdidas considerables, tanto humanas como materiales.

Este estudio tuvo como propósito aprovechar un invierno con lluvias intensas –el evento El Niño 1997-1998– como un laboratorio para la recopilación de información en tiempo real para realizar un análisis integral del funcionamiento del ambiente urbano y tratar de comprender el dónde, el porqué, el cuándo, el cuánto y el cómo de los fenómenos ocurridos, utilizando el Sistema de Información Geográfica de la Frontera Norte (Sigef), programa conjunto del IRD y El Colegio de la Frontera Norte.

Cinco etapas han sido desarrolladas: 1) repartición espacio-temporal de las lluvias en el ámbito regional y local; 2) caracterización de las microcuencas-vertientes urbanas; 3) zonificación de los diversos

efectos ocurridos sobre la estructura urbana; 4) modelización de la transformación de la lluvia en escurrimiento, y 5) espacialización de los eventos como señales de disfuncionamiento de las cuencas, elaboración de una escala de riesgo, recomendaciones y prioridades de intervención. En este artículo, sólo se desarrollará una breve presentación de los capítulos 1, 4 y 5.

## **Etapas 1: Las precipitaciones en Tijuana**

### *Cincuenta años en la historia pluviométrica de Tijuana*

Se realizó un estudio con una serie de datos climatológicos de 1950 a 1998, orientado hacia la comparación entre un periodo normal y uno con El Niño, considerando los siguientes aspectos:

- Pluviometría anual: promedios, máximos y coeficientes de variación.
- Pluviometría mensual: promedios, distribución, máximos y coeficientes de variación.
- Pluviometría diaria: eventos máximos y frecuencia.
- Evolución temporal de la pluviometría.

El clima de Tijuana pertenece a la categoría de los subtropicales, de fachada marítima occidental de los continentes. Es un clima seco con precipitaciones anuales promedio del orden de 235.3 mm (año climatológico de julio hasta junio) y una repartición típicamente mediterránea con presencia de lluvias exclusivamente en invierno-primavera (concentradas entre noviembre y abril). Este promedio oculta variaciones relativamente importantes; por ejemplo, los nueve años con presencia de El Niño recibieron en promedio 361.6 mm. Al contrario, durante los 40 años normales, la pluviometría anual disminuyó hasta 206.9 mm, lo cual representa un coeficiente de variación del 74.8% (figura 1).

### *¿Cómo se sitúa El Niño 1997-1998 en la pluviometría de Tijuana?*

Se estableció una red de 27 pluviómetros que permitió monitorear la

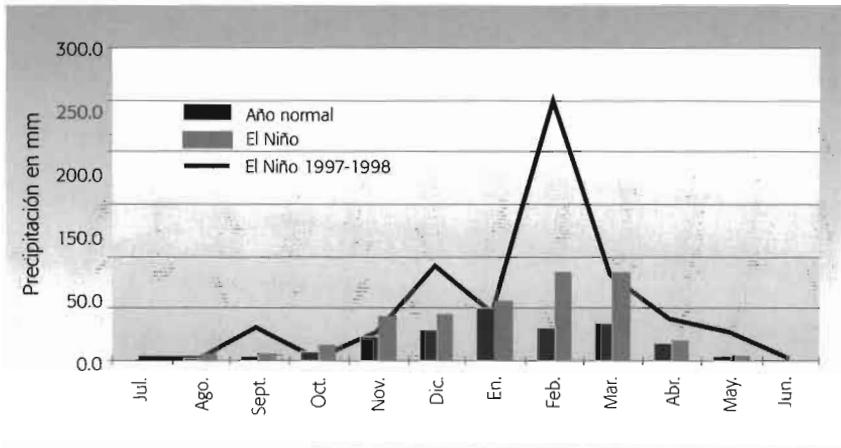


Figura 1. Pluviometría comparada de Tijuana (Presas Rodríguez).

ciudad de Tijuana desde octubre de 1997 hasta junio de 1998. Con un total de 579.4 mm, la estación de la Presa Rodríguez recibió la mayor cantidad de precipitación registrada desde el año 1950, esto representó 2.5 veces la pluviosidad promedio, casi el triple de un año normal y 1.6 veces la pluviosidad promedio de los nueve años con El Niño desde 1950.

La repartición mensual de este episodio se diferencia claramente de los Niños precedentes. Mostró dos máximas; la primera se produjo en septiembre con el paso de la tormenta tropical Nora, 100 km al sur de Tijuana; la segunda se presentó en febrero, la cual con sus repetidos aguaceros, registró 247.5 mm. Esto fue tres veces la pluviosidad en temporada de El Niño, siendo este mes el segundo más lluvioso en la historia de Tijuana, solamente superado por el de enero de 1993. Después de este paroxismo, la fase decreciente es comparable con la evolución normal de un evento El Niño.

El modelo digital muestra una repartición de las lluvias de acuerdo con la orientación noroeste-sureste conformada por los ejes orográficos. Dos áreas con mayor precipitación se localizan en los contrafuertes suroeste del río Tijuana, donde se registraron más de 580 mm, y al extremo noreste, en los contrafuertes de los relieves norteamericanos, donde se alcanzaron casi los 700 mm. Por oposición, la franja cos-

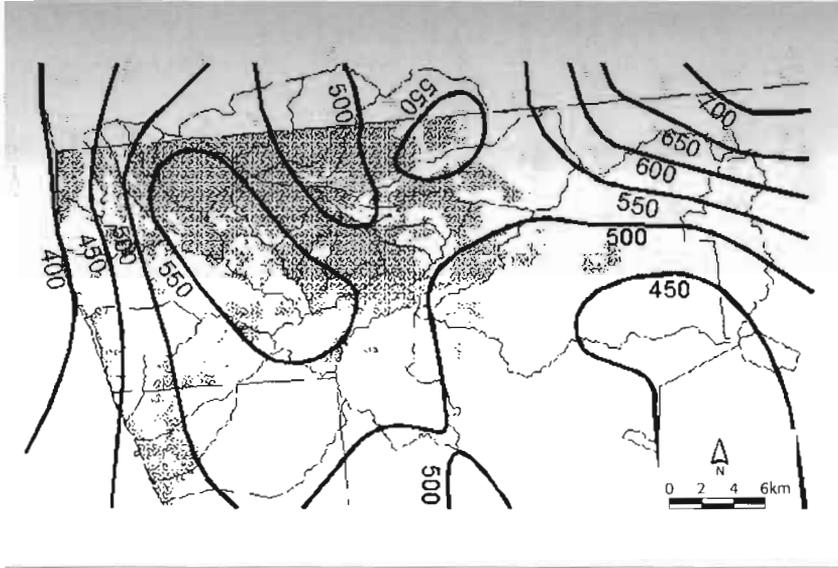


Figura 2. Precipitación total en milímetros en el invierno de 1997-1998.

tera fue la que menos precipitación recibió, entre 400 y 480 mm, en tanto que en el corredor central de la ciudad ésta varió entre 460-500 mm (figura 2).

Estos datos representan variaciones importantes hasta -60 mm al oeste o +60 mm al sur y al noreste en comparación con la estación oficial de la Comisión Nacional de Agua, CNA (Presa Rodríguez), que goza de una cierta posición de abrigo al pie de los contrafuertes de la rivera sur del río Tijuana.

### *Los eventos diarios significativos de El Niño 1997-1998*

Once eventos con precipitaciones iguales o superiores a 20 mm fueron registrados, originándose con ello el desarrollo de escurrimientos superficiales notables, los más fuertes se acompañaron por fenómenos morfodinámicos conexos. A manera de ejemplo sólo se describirá el evento del 7 de febrero de 1998.

La distribución de esta precipitación es muy contrastante. Presentó un fuerte máximo de 60.3 mm en 24 horas, localizado en los prime-

ros contrafuertes al oeste y rodeado por una extensa zona con precipitaciones superiores a 40 mm en las partes central y suroeste de la ciudad, misma que en los dos eventos precedentes había recibido la mayor precipitación diaria. Dos islotes de mínimos relativos se identifican bien: uno hacia la bahía de San Diego, y el otro en la esquina sureste de la ciudad. La precipitación aumentó gradualmente en los cerros del lado estadounidense.

Fuertes intensidades fueron registradas. Las lluvias se concentraron en seis horas, dos con intensidad de 10 mm, seguidas por un pico de aproximadamente 30 mm, las cuales cayeron sobre un suelo ya bastante saturado. Como el evento se produjo durante la noche, se dificultó llevar a cabo medidas de prevención o socorro.

Tres conclusiones principales merecen ser resaltadas:

- Los mayores factores causales del desencadenamiento de fenómenos catastróficos resultan ser la intensidad de la precipitación y la cantidad acumulada en un periodo corto de tiempo, como puede ser un día. Lluvias con posibles consecuencias catastróficas se producen con una recurrencia relativamente alta, menos de cuatro años para precipitaciones entre 40 y 50 mm; de siete a nueve años para lluvias entre 50 y 60 mm, y de uno a 12 años para precipitaciones entre 60 y 70 mm. En casi 50 años se produjeron sólo dos eventos con lluvias superiores a 70 mm, registradas únicamente en temporada normal, la mayor de éstas en enero de 1993. Los datos de 20 a 30 mm predominaron en los inviernos normales, mientras que los datos de 30 a 60 mm son más numerosos en temporada de El Niño.
- Aunque el fenómeno El Niño presenta una relación de fuertes lluvias en Tijuana, conviene recalcar que los registros mostraron precipitaciones intensas, tanto mensuales como diarias, en temporada de El Niño y en periodos normales. El riesgo de inundaciones y deslaves existe entonces a lo largo de todos los inviernos.
- Una de las tareas prioritarias debería consistir en equipar la ciudad con una red de pluviógrafos para registrar permanentemente las variaciones en espacio y tiempo real de las lluvias que caen, con

la finalidad de contar con un sistema de aviso de riesgo en caso de desbordamiento.

---

## **Etap 2: Las cuencas hidrológicas urbanizadas**

### *Treinta cuencas-vertientes elementales están cubiertas por la ciudad de Tijuana*

¿Por qué un estudio en el nivel de la microcuenca-vertiente? Es una entidad física natural donde los fenómenos de tipo hídrico se encuentran estrechamente relacionados y constituye una unidad ambiental propicia para la aplicación de cualquier medida encaminada a controlar el escurrimiento hídrico urbano.

Para cada cuenca-vertiente se realizó una caracterización completa, elaborándose fichas con tablas y gráficos. En ellas se presenta amplia información multitemática, resultado de un largo proceso de recopilación, homogeneización, actualización, validación, georreferenciación e integración. La información contenida considera los siguientes puntos:

- Características del medio físico: fisiografía, topografía, pendientes, condiciones del escurrimiento, geología y formaciones superficiales.
- Características humanas: sociodemográfica, uso del suelo generalizado.
- Infraestructura pluvial existente, superficial y subterránea.

---

## **Etap 3. Análisis espacial de los eventos ocurridos durante el invierno 1997-1998**

El estudio de los eventos ocurridos durante El Niño 1997-1998 abarcó un extenso monitoreo con la finalidad de obtener un inventario completo del funcionamiento de la ciudad en situación de emergencia “meteorológica”, como lo llaman en Tijuana.

Las operaciones desarrolladas se reparten en cuatro rubros:

- Seguimiento mediante la consulta hemerográfica de dos diarios lo-

cales, enfocada hacia las acciones de información o prevención puestas en marcha, por una parte, y los hechos ocurridos, por la otra (tipo, localización, gravedad, consecuencias).

- Monitoreo de los efectos declarados por los ciudadanos afectados: llamadas telefónicas al Consejo Municipal de Protección Civil del Ayuntamiento de Tijuana, acciones enfocadas hacia la organización de las operaciones de auxilio.
- Damnificados desalojados de sus viviendas y hospedados en albergues: lugar de habitación, motivo de su llegada al albergue, condiciones económicas de vida.
- Estudio del material arrastrado y depositado por los flujos hídricos para estimar el grado de “susceptibilidad a la erosión” de las cuencas-vertientes elementales: cantidades extraídas de los tanques de sedimentación y gaviones, limpieza de las infraestructuras viales y pluviales.

La presentación de los resultados está ilustrada por mapas, gráficos y fotos que aportan una visión espacial y sintética, así como una clasificación jerarquizada de las diferentes áreas afectadas al nivel de la colonia, según su grado de afectación por los eventos del invierno El Niño 1997-1998.

---

#### **Etapas 4: La modelización de los escurrimientos superficiales**

##### *El método de modelización*

Con la finalidad de caracterizar el funcionamiento hidrológico de las cuencas-vertientes, estimando en espacio y tiempo los escurrimientos para cada microcuenca y compararlas entre sí, se utilizó el modelo hidrológico MERCEDES. Éste forma parte de un conjunto informático denominado Athys (Taller hidrológico especializado), desarrollado en el IRD por Christophe Bouvier. MERCEDES es un modelo espacializado conceptual que opera sobre una base de mallas en cuadrículas regulares, para representar los escurrimientos superficiales. Utiliza el principio de aditividad de contribución de las diferentes mallas, para restituir el hidrograma resultante en los lugares de desembocadura de las

aguas. Las diferentes funciones del modelo se integran por medio de matrices de pixeles (o mallas) cuadrados que representan el espacio con una resolución del pixel de 80 metros. Cuatro características principales han sido seleccionadas: la topografía, el uso del suelo, el tipo de sustrato y la pluviometría, para elaborar las capas de información necesarias al funcionamiento del modelo: la matriz de drenaje, las funciones de producción y transferencia, las precipitaciones diarias y horarias.

Los factores que rigen la transformación de la lluvia en escurrimiento en una ciudad son de muy diversa índole, e intervienen otros elementos en condiciones normales, como el uso del suelo urbano, la densidad de las construcciones, el comportamiento de las redes tanto pluviales como de calles, etcétera.

Para determinar estos parámetros de producción se utilizó el método Runoff Curve Number NRCS, desarrollado por el SCS en 1985. Tres etapas principales intervienen en la atribución de las curvas CN elegidas para Tijuana: el tipo de uso de suelo, las condiciones hidrológicas de la superficie y el comportamiento hidrológico del subsuelo.

### ***Los resultados: el ejemplo del evento del 8 de febrero de 1998***

Los resultados finales de la modelización, después de una calibración efectuada en Aguaje de la Tuna, se presentan, para cada secuencia de lluvia en cada una de las cuencas-vertiente, bajo la forma de hidrogramas con las estadísticas correspondientes referentes a los datos de flujo máximo en m<sup>3</sup>/seg, duración de los escurrimientos en horas y volumen escurrido en miles de metros cúbicos.

Un tratamiento estadístico de las series de datos obtenidos (18 cuencas en seis periodos distintos), mediante una asociación de tipo *cluster*, permitió establecer un reagrupamiento jerárquico. El estudio comparativo de los caudales de crecida de estas cuencas, permitió diferenciar tres grupos (*cluster*) de cuencas urbanizadas con comportamientos relativamente homogéneos. Se representó a cada uno con un hidrograma resultante, calculado con un promedio no ponderado de sus integrantes (figura 3).

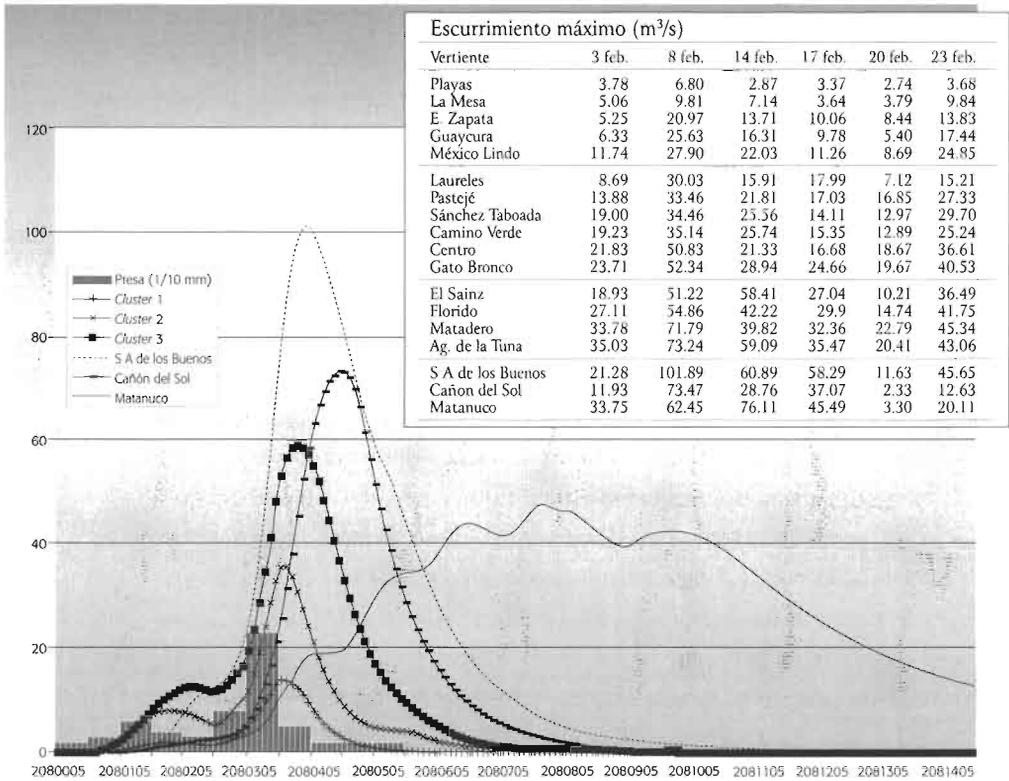


Figura 3. Hidrogramas sintéticos de los escurrimientos.

- *Cluster 1*: cuencas de caudal bastante estables (Playas, La Mesa, Emiliano Zapata, Guaycura).
- *Cluster 2*: cuencas intermedias (México Lindo, Sánchez Taboada, Camino Verde, Pastejé, Los Laureles, Sistema Centro y Gato Bronco).
- *Cluster 3*: cuencas de caudal fuerte (El Sainz, Aguaje de la Tuna, Matadero y El Florida).
- Existen tres cuencas de comportamiento singular debido a su bajo nivel de uso de suelo, tales casos son: el Cañón del Sol, San Antonio de los Buenos y el Matanuco.

Del 3 al 7 de febrero, la temporada fue poco húmeda, cayendo tan sólo 12 mm al medio día del 6. Las precipitaciones iniciaron a las 24:00 horas del día 7, para terminar con un aguacero de 30 mm a las 3:00 am del día 8. Los tres grupos urbanos presentan una dinámica similar. Es sorprendente la velocidad con la cual aumentan los caudales, típica de los llamados *oueds* en el ambiente mediterráneo, mostrando un caudal máximo multiplicado por cinco en un lapso de 60 hasta 75 minutos después de la lluvia –lo que debe hacer reflexionar sobre la gestión a futuro en el caso de tales crecidas–, pero con intensidades diferentes (máximos de 14, 35, 59 y 102 m<sup>3</sup>/seg) principalmente ligadas a la cantidad de superficie drenada y al tamaño de la cuenca.

Sin embargo, la superficie no es un factor determinante. Pastejé, por ejemplo, con una superficie mayor que cualquier cuenca del grupo III, se encuentra dentro del grupo II, con caudales intermedios, debido a que una amplia proporción de su área está desocupada.

El grupo I, constituido por las cuencas con menor grado de peligrosidad en cuanto a los escurrimientos superficiales, abarca cuatro cuencas. Las dos primeras (Playas y La Mesa) no presentan peligro debido a su reducido tamaño. Sin embargo, Guaycura y Emiliano Zapata están poco urbanizadas en sus partes aguas arriba; la primera, porque su situación binacional la protege de una urbanización total, y la segunda, porque sus partes agua arriba se localizan sobre las faldas del Cerro Colorado con fuertes pendientes que han impuesto estrictas limitaciones.

Las tres últimas cuencas constituyen áreas de reserva territorial para la futura expansión de Tijuana, y revelan ya diferentes niveles de urbanización. El Cañón del Sol se comporta de manera similar, pero con un efecto *buffer*, encontrándose la curva retrasada de 40 minutos.

San Antonio de los Buenos se encuentra en un proceso de reciente urbanización difusa, y presenta una dinámica muy parecida a las cuencas del grupo III que desarrollan fuertes caudales, pero con un volumen de escurrimiento que puede llegar a duplicarse. Una urbanización descuidada de esta cuenca podría causar flujos muy peligro-

sos en el futuro. La configuración natural de la cuenca, con un extenso lecho natural y una desembocadura directa en el Océano Pacífico, contribuye a aminorar las amenazas futuras.

El Matanuco es la cuenca menos intervenida y muestra claramente características en las que predominan los procesos hidrológicos naturales, es decir, sin alteraciones por la intervención del hombre. El aumento de sus caudales es lento, el pico tarda hasta cinco veces más tiempo para suceder después de una lluvia. Además, a pesar de su gran superficie, su respuesta es mucho más prolongada, alcanzando sólo 47 m<sup>3</sup>/s, o sea características bastante similares a las del Grupo II.

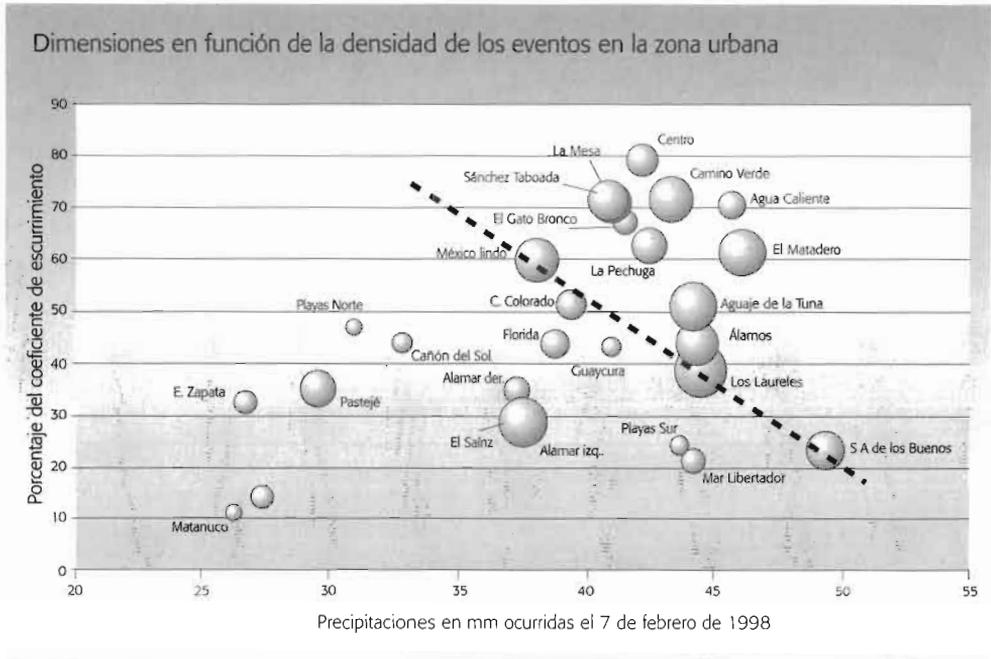
---

### **Etapa 5: Enseñanzas y recomendaciones**

#### *Determinación de los factores de desencadenamiento de fenómenos*

Mediante un proceso que combina métodos estadísticos y geográficos en el SIG, se realizó una agregación en cada una de las diferentes cuencas-vertientes, para cada uno de los eventos ocurridos, georreferenciados y reclasificados de acuerdo con sus características morfodinámicas. Los gráficos para el periodo del 7 de febrero resultan ser muy ilustrativos. Éstos combinan la pluviometría en el eje de las abscisas y el coeficiente de escurrimiento en el eje de las ordenadas. El tamaño del símbolo de cada cuenca se encuentra en función de la densidad de los eventos registrados, relacionándose éstos con la superficie urbanizada de la cuenca.

Se aprecia una similitud entre las cuencas con poca densidad de eventos (parte inferior izquierda) y aquéllas con densidades más altas, siendo éstas las de mayor problemática (en la parte superior derecha). La transición es brusca y puede ser evidenciada por una línea recta que une México Lindo, Los Laureles y San Antonio de los Buenos. Se nota muy bien la interacción lluvia diaria a través del coeficiente de escurrimiento y la aparición de fenómenos significativos con lluvias mayores a 50 mm, en cuencas con un 20% de escurrimiento (San Antonio de los Buenos). Este umbral baja a 45 mm con coeficiente del 40% (Los Laureles) y hasta a 37 mm en una cuenca alta-



4. Relación entre eventos, pluviometría y escurrimiento por cuenca-vertiente.

mente urbanizada como lo es México Lindo, con un coeficiente de escurrimiento del 60%. Lo que demuestra unas condiciones de urbanización poco satisfactorias en estas últimas cuencas (figura 4).

**Espacialización de los diversos tipos de riesgos**

Los riesgos por inundación y anegamiento están estrechamente relacionados con la cantidad de agua acumulada por las precipitaciones y la ausencia de una salida acorde al volumen de las descargas, lo que provoca su estancamiento. Dos cartografías de riesgos potenciales fueron elaboradas mediante tratamientos que se derivaron de un modelo digital de elevación, con una resolución de 30 m, y de una red digital de los cauces hidrográficos naturales.

Las áreas susceptibles de sufrir desencadenamientos de movimientos de vertiente (MVR) fueron determinadas mediante un análisis, a través de una regresión múltiple, de cuatro criterios: la pendiente topográfica, la estabilidad de las formaciones superficiales, la tasa de

ocupación del suelo y las precipitaciones ocurridas durante el periodo de estudio. El resultado es una jerarquización que puede ser interpretada como la probabilidad de ocurrencia de los MVR a la escala de un pixel de 250 m, o sea un tamaño parecido a una manzana urbana. Puede ser utilizada como una escala de riesgo, y su representación espacial permite visualizar con precisión suficiente las zonas problemáticas de la ciudad.

### ***¿Participación en una mejor gestión ambiental de la ciudad?***

Este estudio fue desarrollado con miras a ofrecer también un documento de referencia y de consulta para una mejor gestión ambiental de la ciudad de Tijuana. Para agilizar este paso de la investigación hasta la aplicación y eventualmente la participación en la toma de decisiones, se han establecido dos tipos de acciones:

- Integración de cada uno de los temas desarrollados en el presente trabajo para establecer una caracterización de las microcuencas vertientes, según su grado de peligrosidad potencial global. Este listado se puede interpretar como una posible jerarquización de las prioridades de intervención por parte de las instituciones responsables del desarrollo urbano.
- Los resultados obtenidos se difunden con la publicación de cinco cuadernos temáticos (datos básicos y procesados), uno por cada etapa desarrollada en esta investigación, y en ellos se formulan algunas recomendaciones que servirán de base para el establecimiento de criterios y normas que deberán considerarse tanto para un mejor desarrollo de Tijuana como para la mitigación de desastres ante fenómenos similares en el futuro.

## **IMPACTO AMBIENTAL DEL FENÓMENO EL NIÑO SOBRE LA PRESA EL CUCHILLO COMO PRINCIPAL FUENTE ABASTECEDORA DE AGUA DE LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY**

Juan M. Alfaro B., Heriberto Castro S., Nora Chávez C. y Claudia N. Mendoza L.

Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)

### **Introducción**

**L**a principal fuente abastecedora de agua de la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) es la presa El Cuchillo, que se alimenta de la cuenca hidrológica del río San Juan y tiene como principales afluentes a los ríos Santa Catarina, San Juan, Pílon, Ramos y Pesquería.<sup>1</sup>

El abastecimiento de agua potable en la ciudad de Monterrey ha sido durante las últimas décadas un problema grave que se ha enfrentado de diferentes formas, la más adecuada ha sido la de construir presas, además de continuar utilizando el agua del subsuelo. No obstante, las fuentes freáticas, así como los ríos y, en consecuencia, las presas, están expuestos a la contaminación por medio de desechos industriales y domésticos de la ZMM. Para lograr un mejor aprovechamiento del agua de la cuenca del río San Juan, los gobiernos federal y estatal realizaron el proyecto denominado Monterrey IV que incluyó la construcción de la presa El Cuchillo, en China, N. L. y tres plantas tratadoras de agua residual en los municipios de Escobedo y Apodaca. Después de su tratamiento, el agua se desvía hacia el río Pesquería, el cual desemboca en el río San Juan, aguas abajo de la presa El Cuchillo.

Por otro lado, el agua con la que se alimenta la presa El Cuchillo proviene de los ríos Santa Catarina, San Juan, Ramos, y Pilón; ésta se conduce hacia la planta potabilizadora San Roque y de ahí se bombea a la red de distribución de la ZMM. En la actualidad, el cauce del río Santa Catarina es seco en la parte sur de la ciudad de Monterrey, y es un hecho que a lo largo de la historia de la ciudad este río ha actuado como depositario de los desechos de la industria regiomontana, lo que constituye un riesgo potencial para la calidad del agua de la presa El Cuchillo, ya que, bajo condiciones climatológicas extremas, como tormentas y huracanes, los contaminantes pueden ser removidos del lecho del río y transportados hacia la presa.

---

### **El Niño de 1997-1998 en el noreste de México**

De acuerdo con los reportes de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA)<sup>2</sup> se pronosticaron para el noreste de México (Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila) intensas lluvias y bajas temperaturas durante el invierno de 1997-1998. Así, por ejemplo, en diciembre de 1997 y febrero de 1998 se registraron en esta región lluvias torrenciales, asociadas a los huracanes Erick y Paulina, que impactaron principalmente los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca.

El periodo de mayor precipitación pluvial en la región de estudios durante el fenómeno El Niño de 1997-1998 se registró en los meses de agosto a octubre de 1998, variando el promedio mensual de precipitación de 124 a 165 milímetros.

Las altas temperaturas registradas durante los meses de abril a agosto de 1998 también se pueden asociar al fenómeno El Niño. El promedio registrado en ese periodo fue de 29°C en la ZMM, con valores máximos superiores a los 40°C; esta situación propició la generación de incendios forestales principalmente en la Sierra Madre Oriental, en Nuevo León y Coahuila. Gran parte de la zona afectada por los incendios forestales forma parte de la cuenca hidrológica del río San Juan.

Bajo estos antecedentes, es de esperarse un segundo efecto negativo del fenómeno El Niño sobre la calidad del agua de la presa El Cuchillo, ya que las cenizas generadas durante los incendios, al ser

depositadas, pueden ser fácilmente arrastradas por las lluvias al cauce de los ríos y conducidas hasta la presa.

### Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto del fenómeno El Niño sobre la calidad del agua de la presa El Cuchillo, determinando el contenido de cinco metales y su variación antes y después de presentarse dicho evento.

### Metodología

Se realizaron dos etapas de muestreo de sedimentos, una en noviembre de 1997, antes de presentarse El Niño, y la otra en marzo de 1999, después de haberse presentado este fenómeno. Se tomaron muestras en dos puntos del río Santa Catarina (RSC1, RSC2), en un punto del río San Juan (RSJ), y en otro más de la presa El Cuchillo (PC).

Los sedimentos fueron secados, reducidos a un tamaño de partícula menor a 75  $\mu$ m y sometidos a una digestión con ácido nítrico en un horno de microondas. Se aplicó el programa SW-3015 de la Agencia de Protección Ambiental para residuos sólidos.<sup>3</sup> Los metales se determinaron mediante la espectrofotometría de absorción atómica en su modalidad de flama. Los resultados fueron validados mediante la digestión y determinación paralela de materiales de referencia certificados.

### Resultados y discusión

La tabla 1 presenta los resultados del contenido de cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), en las cuatro muestras estudiadas:

**TABLA 1**

**Concentración de metales en las muestras de sedimentos, noviembre de 1997 y marzo de 1999 (unidades: mg/kg).**

Muestra	Cd		Cu		Ni		Pb		Zn	
	1997	1999	1997	1999	1997	1999	1997	1999	1997	1999
RSC1	3.80	0.78	71.4	26.8	75.6	6.5	434	189	573.00	342
RSC2	2.90	0.88	34.0	33.9	42.8	3.9	138	142	237.17	359
RSJ	1.94	0.76	26.4	17.4	45.4	4.7	194	135	294.26	330
PC	1.95	0.61	7.0	9.8	32.0	45	20	43	43	80

Al revisar los resultados se aprecia un incremento en la concentración de Cu, Ni, Pb y Zn en los sedimentos de la presa (PC) de noviembre de 1997 a marzo de 1999. En el mismo periodo también se observa la disminución significativa de la concentración de Ni en los puntos de muestreo RSC1, RSC2 y río San Juan (RSJ).

La concentración de Cu, Pb y Zn no presenta una variación significativa en ambas etapas de estudio, pero en la estación de muestreo RSC1 sí se observa una disminución de sus concentraciones de noviembre de 1997 a marzo de 1999. En cuanto al cadmio, este caso es en especial interesante, ya que se observa una disminución hasta en un factor de cinco en todos los puntos en los que se realizó el muestreo de noviembre de 1997 a marzo de 1999.

---

### **Conclusiones**

El aumento en la concentración de Ni, Cu, Pb y Zn en sedimentos de la presa El Cuchillo y su disminución en el punto RSC1 es un indicio claro de que hay una movilización de metales pesados desde el río Santa Catarina hacia la presa. Mientras que el Cu, Pb y Zn se encuentran aún presentes en concentraciones significativas en los puntos intermedios (RSC2 y RSJ), el Ni casi desaparece en ellos. Esto indica una mayor velocidad de migración del Ni, debido principalmente a su alta solubilidad, es decir, mientras el Ni viaja disuelto, para el Pb, el Cu y el Zn se establece un equilibrio entre la fase sólida y la líquida. Para el Cd, se concluye que su disminución se debe a que, al igual que el Ni, pasó a la fase líquida, favorecido por las condiciones de pH y del potencial de óxido reducción.

Es indudable que hubo un transporte de metales desde los ríos de la cuenca del río San Juan hacia la presa El Cuchillo. Metales como el Pb, el Cu y el Zn se encuentran en los sedimentos de la presa, esperando condiciones propicias de pH y potencial de óxido reducción para incorporarse a la columna de agua. Otros metales, como el Cd y el Ni se encuentran ya disueltos en el agua de la presa, y probablemente estén ya de regreso a la ZMM a través de las redes de distribución de agua potable.

---

### **Agradecimiento**

Expresamos nuestro reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, institución que apoyó financieramente este estudio, por medio del proyecto 476100-5-PÑ-1297.

---

### **Referencias**

SPP-INEGI. *Síntesis geográfica del estado de Nuevo León*, México, 1993, pp. 24-27.

NOAA El Niño: <http://www.pmel.noaa.gov/toga/tao/el-nino/home.html>.

*Microwave Digestion Applications Manual*, Environmental, SW 846-3015, CEM Corporation, 1994.

---

## EL NIÑO Y SU INFLUENCIA EN ÁREAS URBANAS, EL CASO DEL NORTE DE SONORA, MÉXICO

Juan M. Rodríguez Esteves, Adriana Álvarez Andrade y Araceli Almaraz Alvarado

El Colegio de la Frontera Norte (Colef)

Dirección Regional Mexicali

Av. Zaragoza 1850, Col. Nueva

21100 Mexicali, B.C.

jestevez@telnor.net, aalvarez@telnor.net, aalmaraz@telnor.net

**E**l Niño/Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno que ha provocado severos efectos en la sociedad debido a la intensidad con que se presenta.<sup>1</sup> El fenómeno ocurre a consecuencia de un calentamiento de las aguas del Pacífico ecuatorial con respecto al promedio, lo que recibe el nombre de anomalía térmica. La corriente marina con dirección oeste-este (corriente ecuatorial) durante un evento de ENOS choca con las costas de Perú, modificando las condiciones meteorológicas a escala global. Este aumento de calor es el responsable de que en algunas regiones se presenten fuertes lluvias (por ejemplo en Perú, Bolivia, Brasil y Argentina), aunque en México se presente lo contrario, esto es, sequías (sobre todo en el sureste). Sus recurrentes manifestaciones han obligado a actuar de manera más organizada para evitar efectos devastadores, principalmente donde se concentra la población, es decir, en zonas urbanas.

Partiendo de estos hechos, así como de la necesidad de vincular

---

<sup>1</sup> La variación más reciente e intensa se presentó durante el periodo 1982-1983 cuando la intensidad de las anomalías causadas por El Niño fue extraordinaria y el fenómeno mostró desviaciones del desarrollo usual, no solamente en la intensidad, sino también en la escala temporal. Esto quizá se deba a la influencia del cambio global en los sistemas naturales de la Tierra.

las actividades de planeación con las de prevención social, este trabajo valora algunos aspectos socioeconómicos y ambientales en seis ciudades del norte de Sonora (Agua Prieta, Caborca, Nogales, Puerto Peñasco, San Luis Río Colorado y Sonoyta) durante el evento El Niño 1997-1998 y los efectos provocados por lluvias intensas.

El riesgo al que se exponen las áreas urbanas está asociado a la probabilidad de que ocurra un evento (natural o humano) que ponga en peligro la vida de las personas, así como sus pertenencias, o que altere las actividades que cotidianamente se desarrollan en las ciudades. La vulnerabilidad se relaciona con la capacidad que tiene la gente para resistir un fenómeno perturbador, así como también para reponerse y regresar a su estado original. En consecuencia, los desastres causados por eventos repentinos o inesperados afectan de manera significativa la vida y la salud de las personas y pueden causar la pérdida de bienes comunes y daños significativos al entorno.

Existen varios enfoques para estudiar los desastres naturales. Unos puntos de vista parten del análisis de las características físicas o naturales de los fenómenos que los desencadenan (enfoque tecnocrático); otros, consideran fallas en los flujos de información hacia los grupos sociales más afectados (enfoque comportamentista), mientras que otras corrientes consideran que tanto los desastres como sus consecuencias dependen de determinado orden social, así como de las relaciones cotidianas y de las circunstancias históricas, las cuales pueden aumentar o disminuir los problemas causados por los desastres. Considerando este último enfoque y tratando de conjuntar elementos naturales y sociales, se propuso un esquema de análisis de vulnerabilidad en zonas urbanas.

El término de vulnerabilidad socioespacial utilizado aquí se refiere al estado latente de una ciudad de sufrir daños, al grado de perder elementos que caracterizan a los medios urbanos. El concepto de vulnerabilidad socioespacial condensa situaciones de fragilidad económica, territorial, ambiental y de las condiciones de vida de los habitantes de zonas urbanas. En este análisis se parte del supuesto de que no existe ciudad alguna cuya vulnerabilidad socioespacial sea nula,<sup>2</sup> así

---

<sup>2</sup> M.G. Caputo, J. Hardoy, y Herzer, 1985.

como tampoco existe la posibilidad de que el grado de vulnerabilidad socioespacial sea del 100%. Las condiciones de cualquier medio urbano, por más deficientes que sean, siempre ofrecen la posibilidad de establecer un plan de prevención o de control. Con objeto de conocer la vulnerabilidad socioespacial de la región norte de Sonora ante la presencia de lluvias intensas, se realizó un diagnóstico físico y urbano para después elaborar un análisis integral.

### **Características naturales y urbanas de la zona de estudio**

La zona de estudio, ubicada al noroeste de México y colindante con los Estados Unidos (figura 1), se caracteriza por presentar condiciones de aridez. Los climas prevalecientes en la zona oscilan entre los secos y semisecos, por lo que el promedio de precipitación en la denominada llanura sonorense es de 118 mm anuales, región donde se asientan las ciudades de San Luis Río Colorado (SLRC), Puerto Peñasco, Caborca y Sonoyta; por su parte, en la provincia llamada sie-

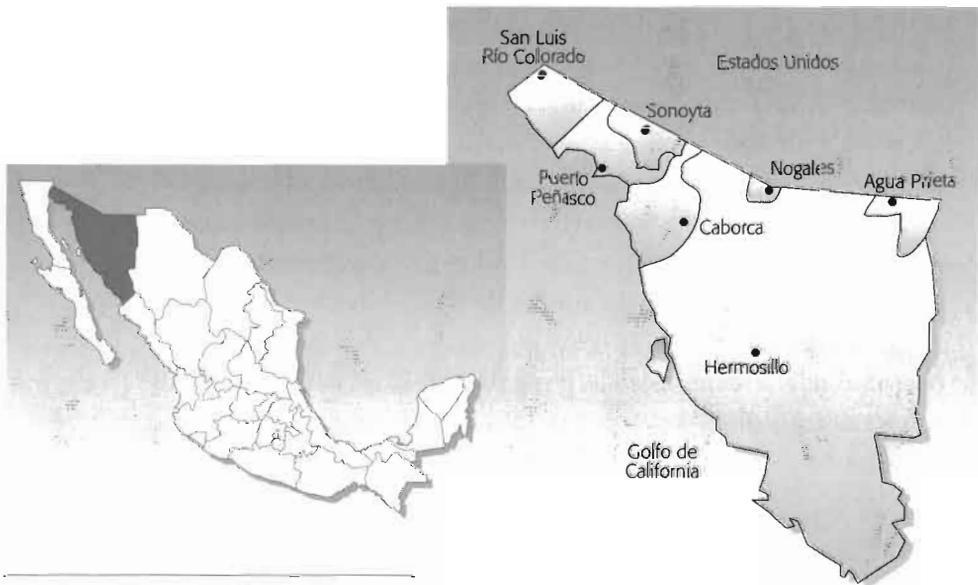


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

rras y llanuras del norte la precipitación es de 393 mm (CNA, 1999), en ella se asientan Agua Prieta y Nogales.

Durante agosto y septiembre de 1997 se presentaron lluvias que afectaron las ciudades del norte de Sonora. Por ejemplo, en Puerto Peñasco una sola lluvia alcanzó 47.2 mm en septiembre de 1997, lo que representa el 88% de la lluvia que cae en un año completo. Esto provocó inundaciones en las zonas con menor cobertura de servicios públicos<sup>3</sup> (la zona norte de la ciudad), obligando a las autoridades a trasladar a un total de 120 familias a albergues previamente establecidos.

Sin embargo, un mes antes, en agosto de 1997, se presentó una precipitación mayor en Sonoyta, alcanzando los 49.7 mm en un solo evento, en menos de 24 h, aunque dicha lluvia no trajo consigo daños significativos para la ciudad. Las situaciones anteriores se debieron, en primera instancia, a las condiciones tanto de pendiente del terreno como de las filtraciones al suelo, ya que para el caso de Puerto Peñasco la poca pendiente ocasionó la inundación citada, y en Sonoyta la compactación y pendiente del terreno lograron drenar el agua de la lluvia a través de la corriente principal de la ciudad, el río Sonoyta. Durante 1998 las condiciones de precipitación no fueron tan significativas en esta región; sin embargo, sí se presentaron mayores lluvias en las ciudades más alejadas de la costa, como Caborca (estación Pitiquito), Agua Prieta y Nogales durante los meses de julio y agosto, con un registro de 79, 53 y 48 mm, respectivamente.

En lo que se refiere a las características urbanas, las seis ciudades concentran el 18.4% de la población del estado de Sonora, mientras que tan sólo las ciudades fronterizas de SLRC, Sonoyta, Nogales y Agua Prieta concentran el 14.8% del total estatal.<sup>4</sup> En cuanto a la densidad poblacional, Nogales presentó la tasa más elevada con 49 hab/ha.<sup>5</sup> Para SLRC, Nogales y Agua Prieta se presentan las tasas más elevadas de crecimiento poblacional con 3.3%, 3.8% y 6.6%, respec-

---

<sup>3</sup> Morales, comunicación personal, 1998.

<sup>4</sup> INEGI, 1997/c.

<sup>5</sup> INEGI, *Cuadernos Estadísticos Municipales*, 1997.

tivamente.<sup>6</sup> Estas características han provocado el aumento de la demanda de servicios públicos y un crecimiento desmedido de los centros urbanos. En cuanto a las características de las viviendas, un tercio de ellas en las seis ciudades están construidas con materiales ligeros o precarios.<sup>7</sup>

## Resultados

Los resultados definitivos en términos de un porcentaje de vulnerabilidad socioespacial, aplicando el esquema de análisis propuesto, arrojaron que Puerto Peñasco presentó una mayor vulnerabilidad socioespacial ante lluvias intensas, como producto de los efectos del fenómeno El Niño para el periodo 1997-1998. Para Caborca y Nogales se presentó una menor vulnerabilidad socioespacial ante lluvias intensas, producto de la mejor cobertura de servicios públicos y de los materiales de sus viviendas. Sin embargo, aquí de nuevo se precisa que el ambiente natural desempeña un papel importante en la planeación urbana, sobre todo en Nogales, ya que esta ciudad presenta mayor proporción de zonas con alta pendiente y una posible amenaza ante otro tipo de fenómenos, como los deslizamientos de tierra o avenidas de arroyos.

**TABLA 1**

### Vulnerabilidad socioespacial en seis ciudades del norte de Sonora

Ciudad	Vulnerabilidad socioespacial (%)
Agua Prieta	22.6
Caborca	15.4
Nogales	15.4
Puerto Peñasco	26.6
San Luis Río Colorado (SLRC)	16.0
Sonoyta	20.3

Fuente: elaboración propia

<sup>6</sup> INEGI, 1997/b y 1997/c.

<sup>7</sup> Para paredes, comprende carrizo, bambú, palma, barro, bajareque, madera, lámina de asbesto o metálica, y adobe, material de desecho y lámina de cartón; en el caso de techos, comprende lámina de asbesto o metálica, palma de tejamanil, material de desecho y lámina de cartón (INEGI, 1997/a).

La vulnerabilidad socioespacial expresa la proporción de viviendas de una ciudad que presenta una o varias debilidades en su infraestructura física y natural, así como en su estructura socioeconómica. En otras palabras, el coeficiente de vulnerabilidad socioespacial refleja el grado de relación entre dos tipos de variables que son interdependientes, por lo que dicho coeficiente debe interpretarse sobre la base de que todas las ciudades presentan una vulnerabilidad espacial intrínseca, la cual se ve magnificada cuando también se presentan situaciones de fragilidad social vinculadas a las debilidades naturales respecto a un fenómeno en particular.

Por lo tanto, la vulnerabilidad socioespacial se encuentra condicionada por los contextos socioeconómicos y/o naturales regionales, provocando que grupos de ciudades presenten porcentajes de vulnerabilidad semejantes. Con base en ello, algunos coeficientes de vulnerabilidad socioespacial podrían extrapolarse a escala regional, facilitando la gestión intra e interurbana de los desastres o la aplicación de políticas territoriales integrales para su prevención.

De acuerdo con los resultados, es necesario construir infraestructura urbana en las seis ciudades, especialmente drenaje pluvial, ya que en la mayoría de ellas no existe, y esto se refleja en inundaciones de ciertos sectores. Por otro lado, se recomienda la creación de áreas verdes que cumplan un papel regulador para el balance hidrológico de las subcuencas, por medio de la infiltración del agua de lluvia, donde se asientan estas ciudades. Asimismo estas medidas deberán ser apoyadas mediante una mayor atención a la cultura de la prevención por parte de los habitantes de dichas ciudades.

---

## Referencias

- Caputo, M.G.; Hardoy, J., y Herzer. "La inundación en el Gran Resistencia", en *Desastres naturales y sociales en América Latina*, Grupo Editorial Latinoamericano, 1985, pp. 29-155.
- INEGI. *Estados Unidos Mexicanos. Censo 1995 de Población y Vivienda. Perfil sociodemográfico*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1997a, p. 149.

INEGI. *Cuaderno Estadístico Municipal. Caborca, Puerto Peñasco, San Luis Río Colorado y Nogales. Estado de Sonora*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Gobierno del estado de Sonora y H. Ayuntamiento Constitucional de Caborca, 1996, 1997b.

INEGI. *Conteo de Población y Vivienda 1995. Sonora. Datos definitivos. Sistema para la Consulta de Información Censal 1995 (Scince 95)*, disco compacto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1997c.

---

# **EFFECTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO EN ALCHICHICA, PUEBLA, MÉXICO, UN LAGO TROPICAL PROFUNDO**

Javier Alcocer y Alfonso Lugo

Laboratorio de Limnología, Proyecto de Conservación y Mejoramiento del Ambiente, UIICSE  
Escuela Nacional de Estudios Profesionales (ENEP) Iztacala  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
Av. de los Barrios s/n, Los Reyes Iztacala  
54090 Tlalhepantla, Estado de México  
jalcocer@servidor.unam.mx

---

## **Introducción**

**E**l estudio de los efectos del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) ha sido realizado principalmente en los océanos. En fechas recientes se ha considerado que este fenómeno también puede afectar cuerpos de agua interiores (por ejemplo, lagos, en especial aquéllos de gran tamaño) y las alteraciones pueden ser observadas en ellos. Sin embargo, este tipo de estudios se ha dificultado por la carencia de datos de largo plazo tanto climáticos como de la dinámica interna de dichos cuerpos de agua. Esta afirmación se puede generalizar a la gran mayoría de los lagos ubicados en zonas tropicales, especialmente a los ubicados en México, donde los escasos programas de medición constante (por ejemplo, Chapala y Pátzcuaro) únicamente toman en cuenta un número muy limitado de variables (como el nivel del lago o la temperatura en la superficie del agua).

Diversos estudios han mostrado que los lagos pueden ser excelentes “sensores climáticos” para este tipo de fenómenos meteorológicos. Tal es el caso del lago Gallocanta, en España, donde se ha observado una respuesta positiva a ENOS, así como el lago Eyre, en Australia, en el cual se ha encontrado una estrecha relación entre los periodos de inundación y La Niña.

La escasa información disponible indica que el efecto de ENOS sobre los lagos tropicales provoca grandes variaciones en las condiciones físicas y químicas de éstos, y, por lo tanto, en su biología. Al parecer, los efectos de ENOS son principalmente, aunque no en forma exclusiva, más pronunciados en latitudes bajas que en altas.

A pesar de lo anterior, es casi nula la información disponible tendiente al entendimiento de los efectos contemporáneos de ENOS en aguas epicontinentales mexicanas. De hecho, los únicos estudios a este respecto se conducen en el lago de Chapala (Universidad de Guadalajara) y el que se presenta a continuación, realizado por la Universidad Nacional.

Este trabajo presenta evidencia empírica de los efectos contemporáneos que el fenómeno ENOS ejerce en el lago tropical Alchichica, Puebla, y representa el primer testimonio de la relación entre ENOS y la dinámica limnológica de un lago profundo mexicano.

---

### **Área de estudio**

Alchichica es un lago cráter formado hace aproximadamente un millón de años, localizado a los 19° 24' N y 97° 24' O, en la cuenca oriental, al extremo suroriental del Altiplano mexicano (2 300 msnm), en la conjunción de los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz (figura 1). Es el lago natural más profundo (profundidad máxima = 64 m, profundidad media = 38.6 m) que se conoce en México al momento. Tiene una forma casi circular (1.7 km de longitud máxima y 1.4 km de ancho máximo), con un área superficial de 1.81 km<sup>2</sup> y 69 920 000 m<sup>3</sup> de agua salina –cloruro sódica– (sólidos totales disueltos = 8.3-9 g/L) y básica (pH = 8.7-9.2).

El clima de la planicie donde se asienta el lago, el “desierto frío” de los llanos de San Juan, se caracteriza como árido, con una precipitación anual muy escasa (<400 mm) y una tasa de evapotranspiración anual de entre 500 y 600 milímetros.

---

### **Material y métodos**

Se realizaron mensualmente perfiles verticales –metro a metro– de temperatura y de la concentración de oxígeno disuelto (OD), en la

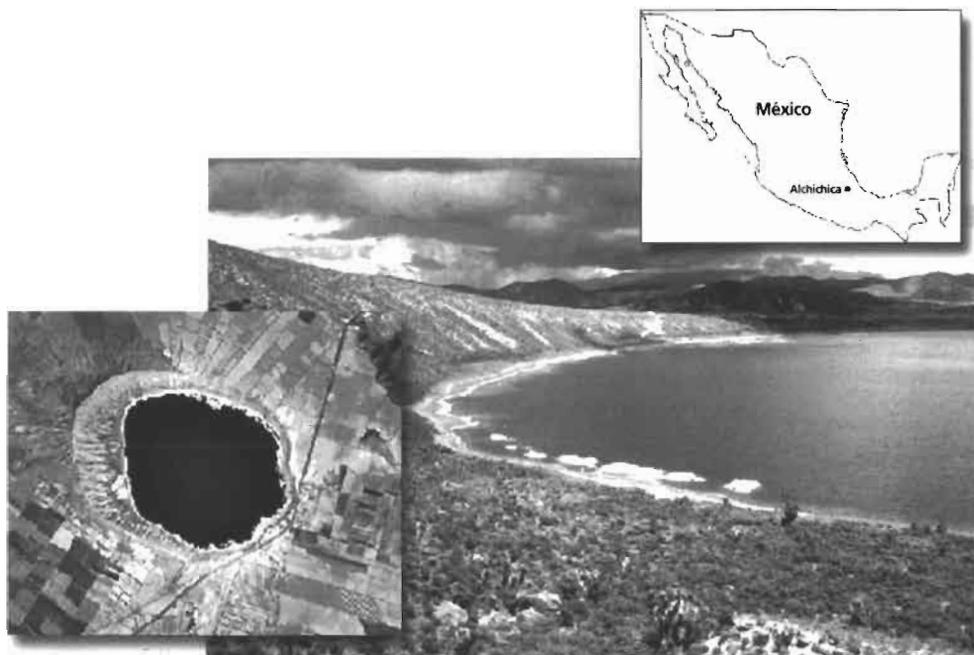


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Fotografía aérea y toma panorámica del Lago Alchichica, Puebla, México.

zona central y más profunda del lago. Diez muestras de agua a lo largo del perfil (0, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 y 60 m) fueron obtenidas para medir la concentración de clorofila *a* (Chl. *a*) como una expresión de la biomasa fitoplanctónica. El periodo de estudio abarcó los años de 1998 y 1999.

## Resultados y discusión

Se llevó a cabo una comparación entre 1998 (año Niño) y 1999 (año Niña) con los valores promedio a “largo plazo” de años “no Niño” procedentes de informes publicados e inéditos de las siguientes variables: temperatura (figura 2), OD (figura 3) y concentración de Chl. *a* (figura 4).

## Temperatura

Aproximadamente a la mitad de la época fría y seca (finales de diciembre o inicios de enero), el lago Alchichica se encuentra en condiciones

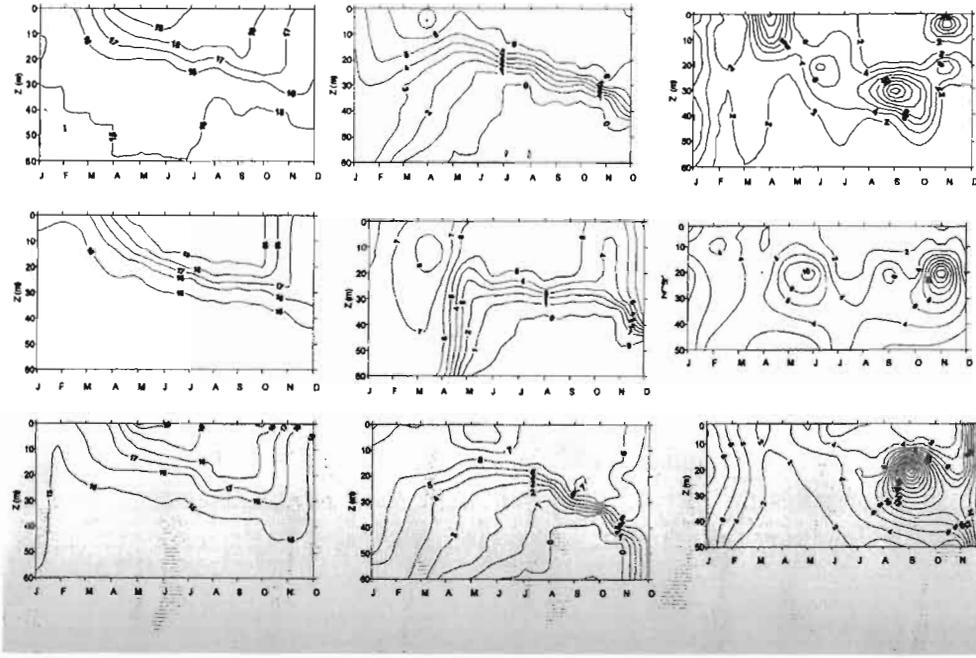


Figura 2. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Figura 3. Oxígeno disuelto ( $\text{mg/L}$ ).

Figura 4. Clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ ).

de mezcla, es decir, con una temperatura baja y casi uniforme a lo largo de toda su profundidad. Conforme la época fría da lugar a la cálida y lluviosa, en el lago se inicia y consolida la época de estratificación. Esto significa que el agua del lago queda “dividida” en tres capas superpuestas bien definidas: una superior caliente y bien iluminada, llamada epilimnion; una intermedia, que representa una barrera física de densidad entre la parte superficial y la del fondo, donde la temperatura presenta su mayor variación por incremento de profundidad (termoclina), y que se denomina metalimnion, y, finalmente, en la parte más profunda del lago, una fría y oscura, llamada hipolimnion. Las condiciones de estratificación se observan entre junio y noviembre. Este patrón temporal de circulación y estratificación se repite año con año y no varió en 1998-1999. En cuanto a la temperatura media del epilimnion, ésta fue ligeramente superior durante ENOS ( $18.7\text{-}19.5^{\circ}\text{C}$ ),

en comparación con el promedio histórico (18.2-19.1°C). La termoclina es dinámica y su posición vertical varía a lo largo del tiempo. Cuando se está formando, se encuentra a 11 m de profundidad aproximadamente, y justo antes de su ruptura se localiza a 35 m. La anchura de la misma fluctúa entre cuatro m en el verano hasta 12 m en el otoño. Este comportamiento se observa normalmente y no varió en 1998-1999. Finalmente, el cambio térmico a lo largo de la termoclina, del tope a la base, fue mayor en El Niño (1.76-3.77°C) y en La Niña (1.76-3.6°C), comparado con años no Niño (1.65-2.91°C).

Estudios realizados en lagos canadienses muestran que bajo el efecto del fenómeno ENOS: a) los procesos de circulación (deshielo primaveral) y de estratificación (verano) inician tempranamente; b) la temperatura del epilimnion es más elevada, y c) el gradiente térmico de la termoclina es más fuerte. Durante 1998 y 1999, Alchichica coincidió en los últimos dos puntos.

### **Oxígeno disuelto**

A lo largo del periodo de estratificación, el perfil vertical de OD de Alchichica es clinogrado, esto es, mientras que en la capa superficial el oxígeno se encuentra en cantidades elevadas, en el hipolimnion este gas desaparece, dando lugar a la existencia de condiciones anaerobias. Las concentraciones de OD fueron similares en 1998 y 1999 con relación al promedio histórico. Las condiciones de poco oxígeno o ausencia del mismo en años no Niño comienzan en abril, al mismo tiempo que la estratificación, y terminan al inicio de la circulación a fines de diciembre o inicios de enero. Esta situación inició tardíamente para los años Niño y Niña (mayo y junio, respectivamente). En forma adicional, durante los años no Niño la capa desoxigenada alcanza 34 m de anchura, mientras que durante el fenómeno ENOS alcanzó un máximo de tan sólo 30 metros.

La desoxigenación más intensa del hipolimnion durante años no Niño se asocia a una mayor producción de materia orgánica en forma de organismos fotosintéticos (fitoplancton). Esta biomasa generada en el epilimnion, al morir, se deposita en el estrato profundo del lago, por debajo del metalimnion, donde es descompuesta por micro-

organismos (principalmente bacterias), consumiendo el oxígeno disponible. Como se explica más adelante, los florecimientos “modestos” de cianobacterias durante 1998 y 1999, en comparación con la media histórica, parecen explicar este menor consumo de oxígeno disuelto.

---

### **Biomasa fitopláctica**

En Alchichica se presentan básicamente tres épocas del año en las que pueden encontrarse densidades elevadas de organismos fotosintéticos: a) durante el invierno, en la temporada de circulación del lago, se observan abundantes algas microscópicas del grupo de las diatomeas; b) a mediados o finales de la primavera se presenta un crecimiento muy notable de cianobacterias filamentosas que se acumula principalmente en la capa superficial del lago, y c) durante la estratificación del lago, se origina un crecimiento de diatomeas de gran tamaño localizado esencialmente en el metalimnion, denominado máximo profundo de clorofila (MPC).

El florecimiento invernal se presentó durante ENOS con una magnitud similar al promedio (4-8  $\mu\text{g Chl. } a/L$ ). Sin embargo, el florecimiento de cianobacterias apenas se desarrolló durante El Niño (2-3  $\mu\text{g Chl. } a/L$ ) y fue ligeramente mayor durante La Niña (2-6  $\mu\text{g Chl. } a/L$ ), en comparación con las concentraciones alcanzadas bajo condiciones normales (hasta 16  $\mu\text{g Chl. } a/L$ ). Por último, el MPC se desarrolló con concentraciones más bajas (hasta 12  $\mu\text{g Chl. } a/L$ ) durante El Niño y más elevadas (hasta 24  $\mu\text{g Chl. } a/L$ ) durante La Niña, comparado con la media histórica (hasta 17  $\mu\text{g Chl. } a/L$ ).

---

### **Conclusiones**

El fenómeno ENOS de 1998-1999 alteró la dinámica limnológica de Alchichica. La información disponible al momento sugiere que los efectos de ENOS en aguas epicontinentales tropicales mexicanas desencadenan amplias variaciones, valores “extremos” por encima o por debajo del promedio a largo plazo (anomalías), en la física, la química y, por consiguiente, en la biología de los lagos. Con base en lo anterior, los lagos tropicales pueden ser utilizados como “sensores” de estos

fenómenos climáticos. La generación de datos continuos a través de lapsos muy largos en lagos mexicanos “selectos” es la única herramienta para tener certeza en la interpretación de los efectos de este tipo de fenómenos climáticos como El Niño/Oscilación del Sur.

---

### **Agradecimientos**

Los autores expresan su reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología que, por medio de los proyectos 25430-T y 0956-N9111, nos ha permitido generar una base de datos histórica del comportamiento limnológico del lago Alchichica, Puebla, lo cual permitió realizar la presente interpretación. El apoyo proporcionado por Laura Peralta y Luis A. Oseguera en trabajos de campo y de laboratorio resultó invaluable.

---

## **IV. LA PRODUCCIÓN PESQUERA Y AGRÍCOLA NACIONALES**



---

# EL TRIGO EN EL NORTE DE MÉXICO Y EL NIÑO 1997-1998

C.A. Salinas Zavala

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (Cibnor)

Apartado Postal 128

La Paz, B.C.S., México

csalinas@cibnor.mx

---

## Introducción

**E**l trigo es uno de los principales cereales que se cultivan en todo el mundo. Se utiliza tanto para consumo humano como para forraje y se cultiva en las regiones subhúmedas y semiáridas de nuestro planeta; este cinturón de granos está limitado por las altas temperaturas de verano. En la región noroeste de nuestro país, el trigo se cultiva durante el ciclo otoño-invierno, iniciando la siembra aproximadamente entre el 1o. y el 15 de noviembre y cosechándose durante el mes de mayo del año calendario siguiente. La agricultura de la región se desarrolló principalmente en los valles irrigados por los ríos que desembocan en el Golfo de California, y en aquellas áreas donde los ríos están ausentes se extrae el agua del subsuelo, como es el caso de los valles de Santo Domingo, B.C.S., San Quintín, B.C. y Caborca, Sonora.

Después de la Revolución Mexicana, esta región recibió múltiples apoyos para su desarrollo agrícola, lo cual derivó en la puesta en marcha del mayor programa agrícola en el mundo en esa época, denominado la Revolución Verde (RV). Este evento fue tan importante en la región que impulsó el vigor y la pujanza que hoy poseen urbes como Ciudad Obregón y Hermosillo, en Sonora, o Mexicali, en Baja Califor-

nia. La puesta en marcha de la RV permitió a México incrementar sustancialmente la producción de trigo por unidad de área, colocándolo a la cabeza en el ámbito mundial (figura 1).

Desde hace más de quince años la tasa de producción agrícola en México alcanzó su máximo nivel de rendimiento; la figura 2 muestra el desarrollo de los rendimientos de trigo. Por el contrario, la tasa de

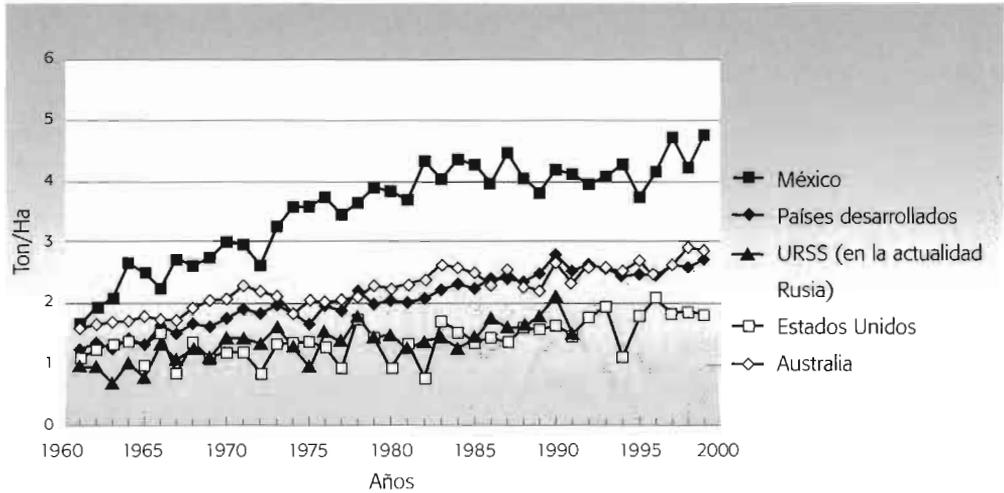


Figura 1. Comparativo de los rendimientos históricos de trigo en México y otros sitios en el mundo.

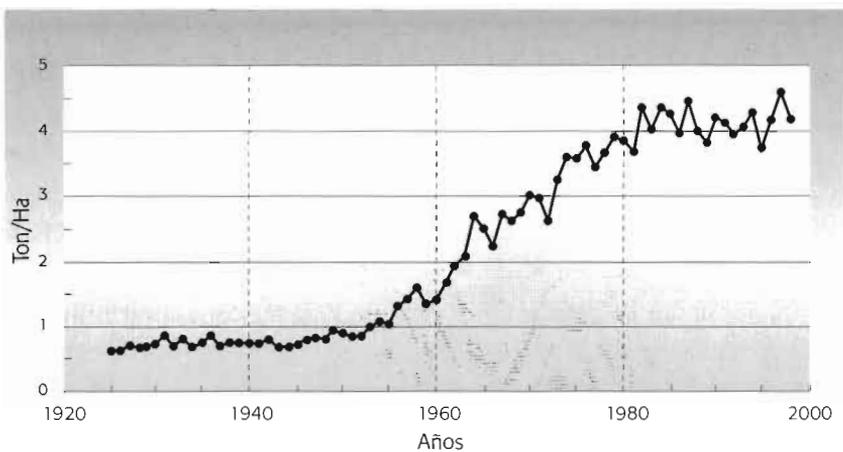


Figura 2. Rendimientos históricos de trigo en México.

crecimiento poblacional continúa incrementándose. Esta relación inversa entre el crecimiento poblacional y el agrícola hizo que el país que era exportador de granos durante los años setenta se transformara en importador, eliminando con ello la autosuficiencia alimentaria mexicana (Hewitt, 1976).

### ENOS 1997-1998

El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) de 1997-1998 es reconocido como uno de los fenómenos más intensos (Wolter and Timlin, 1998). Se caracterizó por desarrollarse rápidamente desde junio hasta diciembre de 1997; fue modulado por los vientos del oeste, debilitó a los alisios de manera discreta y regresó a su normalidad hasta mediados de mayo de 1998. Al disminuir la temperatura oceánica ecuatorial 8°C en 30 días, se establecieron las condiciones de La Niña, sustituyendo la fase positiva de ENOS. Este repentino inicio y la gran magnitud del evento 1997-1998 se relacionan con el forzamiento de la oscilación estacional de la atmósfera, la cual disparó las intensas anomalías de temperatura del mar, al este de la línea del tiempo, no previstas en los modelos actuales (MacPhaden, 1999). En este estudio se analizó la relación entre ENOS y los rendimientos de trigo, bajo la hipótesis de que aun cuando el hombre controla la agricultura tecnificada, los rendimientos responden más a una relación con las condiciones del clima imperante en años extremos como los de ENOS. La figura 3 muestra los sitios donde se cultiva trigo en el noroeste de México.

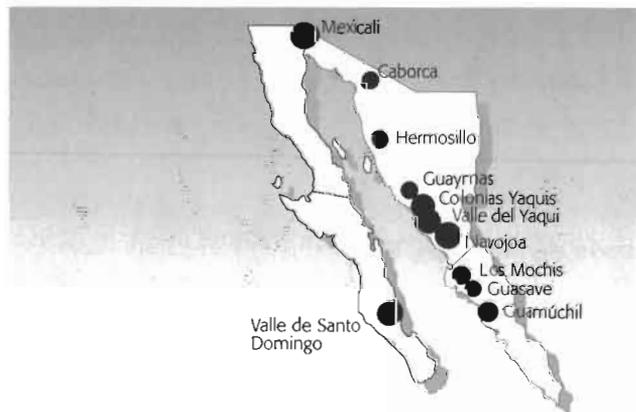


Figura 3. Áreas de cultivo de trigo en el noroeste de México.

Las diferencias observadas durante el ciclo de cultivo 1997-1998 y el pronosticado por el modelo logístico, denominadas residuales, se muestran en la figura 4. En general las diferencias son positivas en todas las zonas de cultivo, excepto la de Hermosillo y la del valle de Santo Domingo, en B.C.S. Una explicación plausible puede atribuirse a lo corto de la serie de tiempo de Hermosillo y al comportamiento de decaimiento de los rendimientos de trigo en el valle de Santo Domingo desde mediados de los años ochenta.

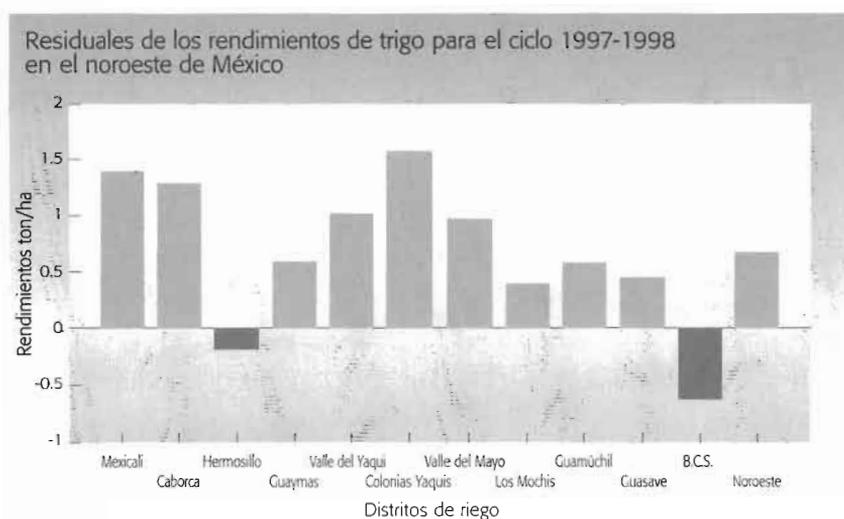


Figura 4. Diferencia de los valores observados y los datos para el ciclo 1997-1998.

La tabla 1 resume el análisis comparativo entre los valores esperados de rendimientos de trigo, utilizando el modelo logístico, y los valores reales observados.

### **Correlación entre indicadores de ENOS y los residuales de la serie de Mexicali, B.C.**

La única serie que mostró correlaciones significativas al 95% de confianza en el análisis de correlación cruzada con los indicadores de El Niño (Southern Oscillation Index –SOI– y el Equatorial Precipitation

**TABLA 1**  
**Efecto de ENOS 1997-1998 en los rendimientos por distrito de riego**

LOCALIDADES	RENDIMIENTOS		
	Diferencia	Esperado	Observado
Mexicali	1.40	5.46	6.86
Caborca	1.29	5.61	6.90
Hermosillo	-0.19	5.39	5.20
Guaymas	0.60	4.90	5.50
Valle del Yaqui	1.02	5.07	6.10
Colonias Yaquis	1.57	4.25	5.83
Valle del Mayo	0.98	5.06	6.04
Mochis	0.40	4.36	4.77
Guamúchil	0.58	4.22	4.81
Guasave	0.46	4.25	4.71
B.C.S.	-0.63	5.03	4.40
Noroeste	0.68		
México	-0.03	4.23	4.20

**TABLA 2**  
**Correlación por mes entre los rendimientos de trigo y los indicadores del fenómeno de ENOS**

	SOI		IPE	
	Año (0)	Año (-1)	Año (0)	Año (-1)
Enero	-0.35 *	0.14	0.23	0.00
Febrero	-0.36 *	-0.00	0.25	0.15
Marzo	-0.36 *	-0.08	0.24	0.26
Abril	-0.37 *	-0.09	0.20	0.19
Mayo	-0.13	-0.15	0.34 *	0.38 *
Junio	-0.03	-0.21	0.22	0.24
Julio	-0.08	-0.14	0.13	0.26
Agosto	-0.09	-0.51 *	0.30	0.40 *
Septiembre	-0.06	-0.38 *	0.04	0.53 *
Octubre	0.04	-0.33 *	0.19	0.41 *
Noviembre	0.00	-0.26	0.09	0.30
Diciembre	-0.03	-0.10	0.03	0.25
Anual	-0.27	-0.25	0.27	0.43 *

\* =  $p < 0.05$

Index -EPI-) fue la serie de Mexicali, los valores de correlación se muestran en la tabla 2. Esta serie mostró que, durante los primeros meses del año, cuando el cultivo está en su fase vegetativa de crecimiento, las correlaciones son significativas y presentan signo negati-

vo, es decir, que condiciones El Niño se correlacionan con altos rendimientos de trigo durante los meses de enero a abril. Además, la correlación cruzada mostró que condiciones El Niño durante los meses de agosto, septiembre y octubre, previos a la siembra, se correlacionan significativamente con altos niveles de rendimiento.

### **Discusión y conclusión**

Al considerar que los rendimientos agrícolas de trigo se estabilizaron desde la década de los ochenta (figura 1), las fluctuaciones alrededor de su valor asintótico representan incrementos o decrementos del nivel máximo producidos en un ambiente controlado como es el sistema agrícola. El incremento observado en el parámetro  $a$  = asíntota del modelo, durante 1997-1998 en la mayoría de las series analizadas, tiene congruencia espacial. Se sabe que durante el ciclo 1997-1998 las prácticas agronómicas para el cultivo de trigo invernal no sufrieron modificación alguna (Oficinas de Estadística de los Distritos de Riego, SARH, com. pers.). Es difícil establecer para toda la región noroeste de México si el incremento en los rendimientos de trigo invernal durante el ciclo 1997-1998 se debió a condiciones de la fase positiva de ENOS, ya que únicamente la región de Mexicali presentó correlaciones significativas con las series históricas de indicadores de ENOS. Sin embargo, la diferencia en una amplia extensión espacial entre los rendimientos calculados y los observados indica que la relación es posible.

Como conclusión se puede mencionar que los resultados de este estudio soportan la hipótesis de que ENOS influye en la producción agrícola tecnificada, una vez que se ha eliminado la tendencia de las series, considerando que ésta es debida al avance tecnológico aplicado al cultivo a través del tiempo; al menos para el valle de Mexicali y Caborca esta aseveración resultó estadísticamente significativa. En otras partes del mundo son utilizados indicadores tempranos de ENOS para administrar y manejar los recursos tanto pesqueros como agrícolas, tal es el caso de Zimbabwe y Australia. Es deseable que en México se desarrolle este tipo de investigaciones para encontrar una mejor manera de ajustar los sistemas productivos agrícolas a la varia-

bilidad climática de nuestro país. La predicción de ENOS está aún limitada por multitud de factores; sin embargo, la ventaja para México es que una vez iniciado el evento se tienen tres meses para ajustar el sistema de producción y maximizar los rendimientos, en función del área cultivable y la utilización de insumos agrícolas, al menos para el trigo invernal en los valles de Mexicali y Caborca.

---

### Referencias

- Hewitt de Alcántara, C. *Modernizing Mexican Agriculture: Socioeconomic Implications of Technological Change 1940-1970*, Ginebra, Suiza, United Nations Research Institute for Social Development, 1976, 349 p.
- McPhaden, M.J. "Genesis and evolution of the 1997-1998 El Niño", *Science*, 283, 1999, pp. 950-954.
- Wolter, K., and M.S. Timlin. "Measuring the Strength of ENSO Events: How does 1997/98 Rank?", *Weather*, 53(9), 1998, pp. 315-324.

---

# EFECTO DE EL NIÑO EN LA PRODUCCIÓN DE CAMARÓN

Adolfo Gracia Gasca

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
Apartado. Postal 70-305  
04510 México, D. F.

---

## Introducción

**E**l camarón es uno de los recursos pesqueros más importantes de México, tanto por su volumen de captura como por su valor económico y los empleos que genera. En su explotación convergen diferentes tipos de pesquerías artesanales e industriales que inciden sobre distintas fases de su ciclo de vida. El incremento sostenido de la presión pesquera sobre este organismo, en las últimas décadas, ha dado como resultado un decremento de la producción total en comparación con las capturas máximas registradas en la historia de la pesquería.

El ciclo de vida de los camarones se ve influido por factores ambientales –estacionales o interanuales– que modifican la abundancia y la duración de cada etapa (Gracia, 1989a); entre ellos se han considerado varios, como la precipitación pluvial, la descarga de ríos, la temperatura, las manchas solares, etc., con diferentes periodos de variación (estacionales, anuales e interanuales) que pueden estar asociados con otros parámetros que también pueden afectar la producción de camarón (García y Le Reste, 1981; Staples *et al.*, 1985; Vance *et al.*, 1985; Gracia, 1989b, y Lluch *et al.*, 1991). La importancia de un determinado factor depende de la magnitud de las variaciones, y

de si éstas representan o afectan directamente a un factor ecológico esencial. El efecto de estos factores sobre la abundancia de las poblaciones de camarón se ha utilizado para tratar de establecer modelos de predicción de la captura de camarón y de sus variaciones con fines de manejo del recurso (García y Le Reste, 1981; Witzell y Allen, 1983; Gracia, 1989b, y Staples *et al.*, 1995).

Entre los factores climáticos, se ha considerado el evento El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) con un impacto positivo sobre las poblaciones de camarón. Se han encontrado correlaciones positivas entre el nivel del mar y el reclutamiento de camarón (incorporación de organismos jóvenes a la población), asociado con la fuerza de la corriente de Leeuwin en Australia (Caputi *et al.*, 1996) y con regímenes de inundaciones asociados a El Niño que afectan la abundancia de juveniles de camarón en estuarios del norte del Golfo de México (Childers *et al.*, 1990). Sin embargo, aunque existen varias hipótesis, no se conocen con claridad los mecanismos con los que el evento El Niño puede impactar positivamente la producción de camarón, ni tampoco la forma y los límites de las relaciones.

La determinación de los impactos de El Niño sobre la producción de camarón adquiere mayor relevancia en la situación actual del recurso, en la cual el esfuerzo pesquero total sobre la mayoría de las especies en ambas costas de México se ha incrementado hasta niveles nunca antes vistos, y las cifras de producción muestran una disminución global notable. Por lo tanto, con fines de manejo, es importante diferenciar la influencia de factores ambientales sobre la abundancia del camarón de aquéllos provocados por el hombre, principalmente la mortalidad ocasionada por la pesca. Asimismo, la identificación de factores asociados con los eventos de El Niño y las respuestas bióticas del camarón pueden ser empleadas para explorar modelos predictivos relacionados con los niveles de producción y medidas para la conservación y explotación óptima de este recurso.

---

### **Efecto de El Niño sobre las pesquerías de camarón**

Con el fin de determinar el efecto de El Niño (figura 1) sobre las pesquerías de camarón en el Golfo de México, donde el fenómeno no se

expresa directamente, pero sí se ha considerado que causa un efecto global, se analizó la dinámica poblacional del camarón café *Farfantepenaeus aztecus* en la zona costera de los estados de Tamaulipas y Veracruz. Este crustáceo sostiene actualmente gran parte de la pesquería de camarón en el Golfo de México (Gracia y Vázquez, 1999), y esto se debe en parte al incremento sustancial de la producción total de camarón café alcanzada a partir de la veda estacional que se estableció en 1993, con el fin de proteger parte del reclutamiento principal y de esta forma solucionar parcialmente el problema de sobreexplotación del crecimiento, derivado de las pesquerías artesanales. Esta medida también tuvo repercusión en la protección de la población reproductora, ya que los modelos realizados estiman que se pudo haber incrementado en al menos 40% (Gracia, 1997).

Con el fin de determinar el efecto de El Niño sobre la producción de camarón, se obtuvo información de la actividad pesquera y de muestreos en el campo, tales como datos estadísticos de captura, número de barcos y días de pesca, proporción de tallas y sexo de los ca-

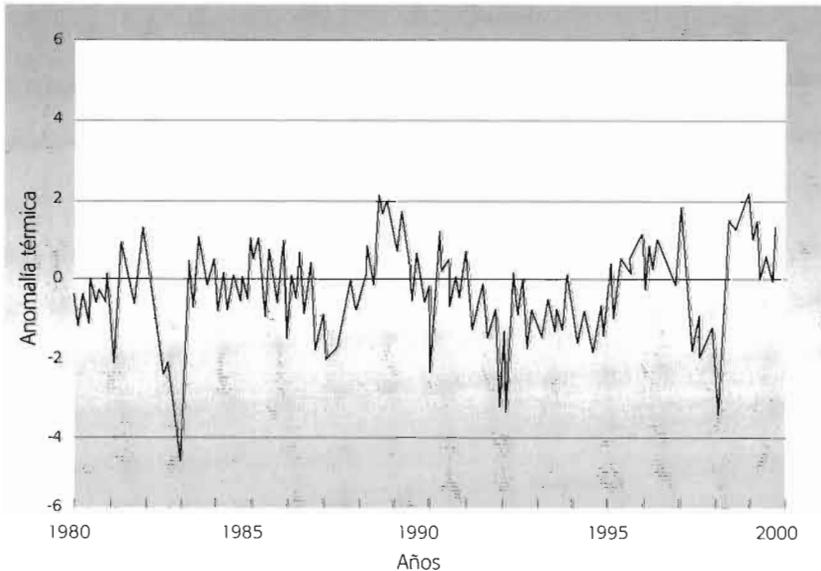


Figura 1. Anomalías térmicas ocasionadas por el fenómeno El Niño en el Pacífico mexicano.

marones en la población. Esta información se analizó mediante métodos estadísticos para estimar parámetros poblacionales y tasas de crecimiento individual, para finalmente obtener estimaciones de la abundancia de camarón en el mar en determinado momento. Asimismo se relacionó con parámetros ambientales, indicadores del efecto de El Niño, tales como precipitación pluvial, descarga de ríos, temperatura del mar, anomalías térmicas para determinar la interacción del fenómeno ambiental con las poblaciones de camarón.

A partir de la información recabada, se pudo establecer que un indicador viable de las variaciones de abundancia de camarón es la precipitación pluvial. En el caso de este crustáceo, la lluvia y la descarga de los ríos han sido señaladas como factores importantes que afectan la abundancia de éste, aunque esta relación no es lineal en muchos casos (Gracia, 1989b). En lo referente al camarón café, la lluvia acumulada en periodos de 12 y tres meses antes del evento de reclutamiento de juveniles a la población marina demostró tener una correlación con la abundancia de camarón. La relación es no lineal con intervalos óptimos para el camarón (figura 2).

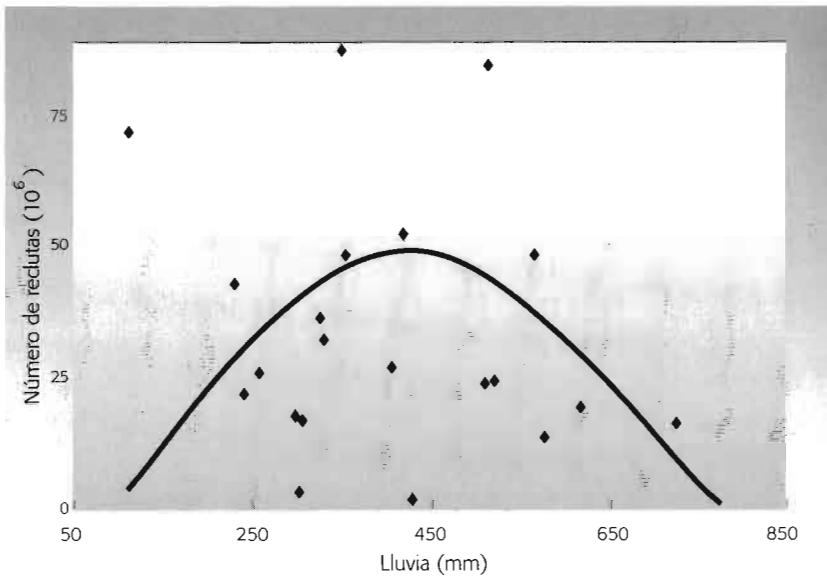


Figura 2. Relación de la precipitación pluvial, desfasada en 12 meses, con la producción de camarón café *Farfantepenaeus aztecus*.

La influencia de este factor es particularmente importante en las lagunas y estuarios que conforman las áreas de crecimiento del camarón, ya que desempeñan un papel crítico en la determinación de los niveles de reclutamiento de estos peneidos, por medio de la limitación de la capacidad de carga en las zonas costeras (Gracia, 1991). En otras especies del Golfo de México se ha descrito la relación de la descarga de ríos, de alguna forma influida por la precipitación pluvial, con la abundancia de camarón en distintas etapas del ciclo de vida (Gracia 1989b). Los cambios ambientales que ocurren están ligados entre sí y es difícil separarlos estadísticamente; por ejemplo, la lluvia afecta la descarga de ríos, la temperatura del agua, la turbidez, los nutrientes y la disponibilidad del habitat.

Debido al corto ciclo de vida del camarón, que prácticamente es anual, las respuestas a variaciones ambientales derivadas del fenómeno El Niño pueden verse reflejadas en un corto plazo, principalmente en la variabilidad del reclutamiento y con posterioridad en los niveles de producción del recurso. Esto pudo observarse en los índices de reproductores y reclutas estimados por métodos de análisis de población virtual. La información obtenida para el camarón café muestra que los factores climáticos afectan en mucho la relación reproductores-reclutas de camarón; es decir, el número de descendientes que pueden originarse de un cierto número de padres. Para un determinado nivel de *stock* reproductor de camarón café, la variación observada puede ser hasta de 400% (figura 3) a causa de factores ambientales. En el estudio realizado para esta especie de camarón se determinó que uno de los principales factores es el nivel de lluvia.

Entre los efectos que el evento El Niño tiene a escala global se encuentra la influencia sobre los patrones de precipitación pluvial y la temperatura. Lo que sucede en el Golfo de México es diferente a lo que ocurre en el Pacífico mexicano, donde el incremento de la temperatura del agua de mar se ha asociado con un aumento en la producción de camarón. Esto sólo ocurre en los límites extremos de la distribución de camarón, en los cuales la temperatura del mar se constituye en un factor limitante por ser relativamente baja para la existencia óptima del camarón en dichas áreas geográficas. Como el camarón es una

especie de tipo oportunista (poblaciones cuyo crecimiento responde en forma rápida a cambios favorables del entorno), un incremento de temperatura en su medio le permite expandir su distribución espacial, con la repercusión correspondiente en la abundancia total. Esto tiene efectos directos en la captura de camarón, ya que se le encuentra disponible en áreas donde normalmente no se distribuye. Sin embargo, en el Golfo de México la temperatura no constituye un factor limitante, ya que las variaciones no son muy amplias para afectar la distribución del camarón. El efecto de El Niño en el Golfo de México se expresa en forma indirecta por medio de su influencia en la precipitación pluvial (figura 4). Esta última afecta de manera directa la abundancia de camarón, aunque el efecto depende de la temporada del año en que se presente el evento, así como de la intensidad y de la duración del fenómeno climático.

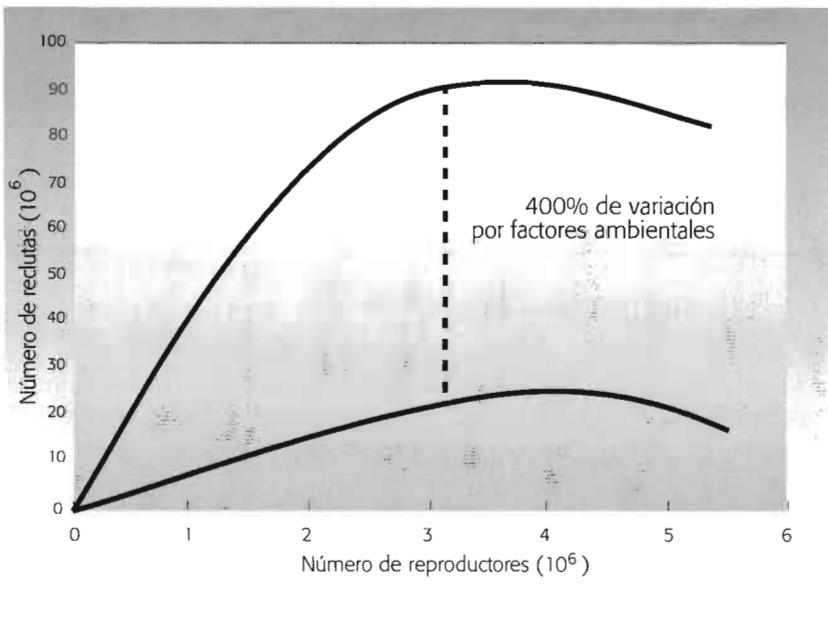


Figura 3. Variación de la fuerza de reclutamiento ocasionada por factores ambientales en el camarón café del Golfo de México.



Figura 4. Efecto indirecto del fenómeno El Niño en la producción de camarón.

## Referencias

- Caputi, N. W.; R. Fletcher; A. Pearce, y C. Chubb. "Effect of the Leeuwin Current on the Recruitment of Fish and Invertebrates Along the Western Australian Coast", *Marine and Freshwater Research* 47, 1996, pp. 147-155.
- Childers, D. L.; J. W. Day, y R.A. Muller. "Relating Climatological Forcing to Coastal Water Levels in Louisiana Estuaries and the Potential Importance of El Niño-Southern Oscillation Events", *Clim. Res.*, 1(1), 1990, pp. 31-42.
- García, S., y L. Le Reste. "Life Cycles, Dynamics, Exploitation and Management of Coastal Penaeid Shrimp Stocks", *FAO Fish. Tech. Pap.*, (203), 1981, 215 p.
- Gracia, A. "Ecología y pesquería del camarón blanco *Penaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) en la Laguna de Términos-Sonda de Campeche", tesis doctoral, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, 1989a, 127 p.
- \_\_\_\_\_. "Relationship Between Environmental Factors and White Shrimp Abundance in the Southwestern Gulf of Mexico", México, Universidad Nacional Autónoma de México, *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, 16 (1), 1989b, pp. 171-182.
- \_\_\_\_\_. "Spawning Stock-Recruitment Relationships of White

- Shrimp in the Southwestern Gulf of Mexico”, *Transactions of the American Fisheries Society*, 120, 1991, pp. 519-527.
- \_\_\_\_\_. “Simulated and Actual Effects of Brown Shrimp *Penaeus Aztecus* Closure in Mexico”, *Mar. Fish. Rev.*, 59(2), 1997, pp. 18-24.
- Gracia, A., y A. R. Vázquez Bader. “Shrimp Fisheries in the South Gulf of Mexico. Present State and Future Management Alternatives”, en Kumpf, H., D. Steidinger, y K. Sherman (eds), *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*, Berlín, Blackwell Science, 1999, pp. 205-234.
- Lluch, D.; S. Hernández; C. C. Salinas; F. Magallón, y F. de Lachica. “Variación climática y oceanográfica global: sus efectos en el noroeste mexicano”, *Ciencia y Desarrollo*, núm. 98, 1991, pp. 79-88.
- Staples, D. J.; D. J. Vance, y D. S. Heales. “Habitats Requirements of Juvenile Penaeid Prawns and their Relationship to Offshore Fisheries”, en Rothlisberg, P. C., B. J. Hill, y D. J. Staples, *Second Australian National Prawn Seminar NPS2*, Cleveland, Queensland, Australia, 1985, pp. 47-54.
- Staples, D. J.; D. J. Vance, y N. R. Loneragan. “Penaeid Prawn Recruitment Variability: Effect of the Environment”, *Proceedings of the Workshop on Spawning Stock-recruitment Relationships (SRRs) in Australian Crustacean Fisheries*, Bribie Island, Queensland, del 1 al 3 de junio de 1994, 1995, pp. 41-50.
- Vance, D. J.; D. J. Staples, y D. J. Kerr. “Factors Affecting Year-to-Year Abundance in the Catch of Banana Prawns (*Penaeus Merguensis*) in the Gulf of Carpentaria, Australia”, *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 42, 1985, pp. 83-97.
- Witzell, W. N., y D. M. Allen. “Summary of Studies Relating Coastal Climatological Factors and Commercial Shrimp Production, Southern United States”, *FAO Fish. Rep.* (278), *Suppl.*, 1983, pp. 111-119.

---

# **EFFECTO DEL EVENTO EL NIÑO 1997-1998 SOBRE LA PESQUERÍA ARTESANAL EN LA COSTA DE JALISCO, MÉXICO**

Bernabé Aguilar Palomino, Jorge Arturo Rojo Vázquez, Víctor Hugo Galván Piña y Enrique Godínez Domínguez

Centro de Ecología Costera y Centro Universitario de la Costa Sur  
Universidad de Guadalajara (UdeG)  
Gómez Farías 82  
48980 San Patricio-Melaque, Jal., México  
baguilar@costera.melaque.udg.mx

---

## **Introducción**

**L**as pesquerías marinas a escala mundial se caracterizan por un dualismo en la forma de coexistencia de las pesquerías artesanales o en pequeña escala y las industriales o en gran escala. Las artesanales son aquéllas en las que participan embarcaciones de pequeño calado, con capacidad reducida y autonomía limitada, y en las que se emplea una considerable variedad de artes de pesca para explotar múltiples especies. Entre la diversidad de artes de pesca que se utilizan en este tipo de pesquerías, las más comunes e importantes son las redes de enmalle, consideradas como artes de pesca pasivas, cuya captura se basa en el encuentro fortuito de los peces con la propia red. La importancia que tiene este tipo de artes en la pesquería se deriva, principalmente, del volumen que aporta a la captura (González Sansón *et al.*, 1997).

Mucho se ha hablado sobre el fenómeno El Niño, y se reconoce que ha generado profundas consecuencias ecológicas en los ecosistemas marinos y terrestres, las cuales muchas de las veces han resultado catastróficas para las economías de las naciones colindantes con el Pacífico.

El presente escrito tiene como objetivo realizar un análisis del efec-

to que pudo haber tenido el evento El Niño 1997-1998 sobre la pesquería artesanal de redes de enmalle en Bahía de Navidad, Jalisco, para lo cual se realizaron muestreos en actividades de pesca experimental, antes y durante el evento.

---

### **Área de estudio**

Bahía de Navidad se localiza en el extremo sur de la costa del estado de Jalisco (19°10'30" N, 19°12'50" N y 104°42'45" O, 104°41'30" O). En la bahía pueden encontrarse diferentes tipos de sustratos, como fondos rocosos (caleta Cuastecomatitos y Punta Corrales), fondos blandos (bahía de Cuastecomates y bahía de Melaque), y fondos blandos con piedras pequeñas.

---

### **Materiales y métodos**

Las muestras de peces fueron obtenidas mensualmente, durante dos ciclos anuales diferentes; el primero, de abril de 1994 a marzo de 1995, considerado éste como un periodo normal, y el segundo, de enero a diciembre de 1998, año afectado por El Niño 1997-1998. En ambos periodos se realizaron operaciones similares de pesca experimental con diferentes tipos de redes de enmalle con luz de malla de 3.0, 3.5 y 4.5 pulgadas, fabricadas con paño de monofilamento de nylon, con una altura de 4.5 m, encabalgado de 0.65 y una longitud aproximada de 120 metros.

Los pescadores ribereños de la zona realizaron durante la noche las maniobras de pesca. La forma y la hora de la colocación de las redes coincidió con lo recomendado por Aguilar Palomino *et al.* (1996), quienes recomiendan utilizar este tipo de artes durante la noche y operando en forma perpendicular a la línea de costa.

Durante el periodo 1994-1995 la duración de cada muestreo fue de cuatro días en promedio; durante el periodo 1998, se llevaron a cabo en total cinco muestreos por mes; en ambos casos, éstos se realizaron, por lo general, durante la última semana de cada mes. Toda la captura fue separada en cajas por tipo de red, y a todos los organismos capturados se les tomó la longitud total (cm) y el peso entero fresco (en gramos).

Tomando la abundancia y biomasa de las especies más importantes durante ambos periodos, se realizó una comparación de la captura por unidad de esfuerzo mensual en abundancia y biomasa. La unidad de esfuerzo utilizada fue el número de organismos y kilogramos por día de pesca.

La mayoría de las especies fueron identificadas al momento de realizar las mediciones, y de las especies cuya identificación no fue posible obtener en ese momento, se fijaron algunos organismos en una solución de formol al 10% y se trasladaron al Centro de Ecología Costera (CEC-UdeG), en San Patricio-Melaque, Jalisco, para su posterior identificación. La ubicación taxonómica de las especies se realizó utilizando literatura especializada, principalmente los trabajos de Allen y Robertson (1994), Castro Aguirre (1978), Jordan y Evermann (1896-1900), Meek y Hildebrand (1923-1928), y Miller y Lea (1972). Las especies registradas en el presente trabajo se encuentran depositadas en la colección biológica del CEC de la Universidad de Guadalajara.

## Resultados y discusión

Durante el periodo 1994-1995 se capturaron 4 198 organismos, que pesaron 1 737 kg, mediante muestreos. En la captura estuvieron representadas 75 especies, pertenecientes a 54 géneros, 33 familias y 11 órdenes; las más importantes entre ellas por su aportación en abundancia y biomasa fueron: *Microlepidotus brevipinnis*, *Lutjanus guttatus*, *Haemulon flaviguttatum* y *Caranx caballus* (tabla 1).

Durante 1998, se realizaron actividades de pesca durante 60 días, fueron capturados 6 034 organismos, que pesaron alrededor de 2 612 kg, los cuales pertenecían a 130 especies de peces (tabla 2) de 51 familias y 18 órdenes. Por su aportación a la abundancia y biomasa, las especies más relevantes obtenidas durante ese periodo fueron: *M. brevipinnis*, *C. caballus*, *C. caninus* y *Kyphosus analogus*.

Al comparar el periodo 1994-1995 con el periodo 1997-1998, en el cual se presentó El Niño, puede observarse que tanto la abundancia numérica como la biomasa presentaron un aumento del 50% y el 70%, lo cual puede considerarse significativo y también benéfico (figuras 1 y 2). El número de especies también se incrementó, de 75, re-

gistradas durante el periodo “normal”, a 130, registradas durante la presencia de El Niño, lo cual, al igual que en el caso de las abundancias, puede considerarse como un aspecto positivo, si se toma a la pesquería como una actividad productiva.

Sin embargo, al analizar la composición de especies que en condiciones “normales” son capturadas por las pesquerías artesanales, se observa que existe un desplazamiento de éstas por otro conjunto de ellas con afinidades “tropicales”, mismo que en condiciones de no Niño es registrado en bajas abundancias y en posiciones muy distantes a los primeros sitios de composición.

**TABLA 1.**  
**Abundancia y biomasa de peces capturados durante el período 1994-1995**

Especies	Abundancia total (núm./org.)	I.R.	I.R. Acum.
<i>Microlepidotus brevipinnis</i>	1096	26.11	26.11
<i>Lutjanus guttatus</i>	475	11.31	37.42
<i>Haemulon flaviguttatum</i>	401	9.55	46.97
<i>Caranx caballus</i>	338	8.05	55.03
<i>Trachinotus rhodopus</i>	177	4.22	59.24
<i>Lutjanus argentiventris</i>	149	3.55	62.79
<i>Scomberomorus sierra</i>	138	3.29	66.08
<i>Mulloidichthys dentatus</i>	124	2.95	69.03
<i>Sectator ocyurus</i>	102	2.43	71.46
<i>Pomadasy's branickii</i>	96	2.29	73.75
Otras 65 especies	1102	26.25	100.00

Especies	Biomasa total (kg)	I.R.	I.R. Acum.
<i>Microlepidotus brevipinnis</i>	320.33	18.44	18.44
<i>Lutjanus guttatus</i>	158.34	9.11	27.55
<i>Haemulon flaviguttatum</i>	126.24	7.27	34.82
<i>Caranx caballus</i>	175.96	10.13	44.94
<i>Trachinotus rhodopus</i>	47.20	2.72	47.66
<i>Lutjanus argentiventris</i>	68.96	3.97	51.63
<i>Scomberomorus sierra</i>	111.07	6.39	58.02
<i>Mulloidichthys dentatus</i>	47.30	2.72	60.74
<i>Sectator ocyurus</i>	85.86	4.94	65.69
<i>Pomadasy's branickii</i>	28.55	1.64	67.33
Otras 65 especies	567.62	32.67	100.00

**TABLA 2.**  
**Abundancia y biomasa de peces capturados durante el período 1997-1998**

Especies	Abundancia total (núm./org.)	I.R.	I.R. Acum.
<i>Microlepidotus brevipinnis</i>	1869	30.97	30.97
<i>Caranx caninus</i>	1184	19.62	50.60
<i>Caranx caballus</i>	417	6.91	57.51
<i>Kyphosus analogus</i>	241	3.99	61.50
<i>Caranx sexfasciatus</i>	192	3.18	64.68
<i>Katsuwonus pelamis</i>	169	2.80	67.48
<i>Scomberomorus sierra</i>	177	2.93	70.42
<i>Lutjanus guttatus</i>	139	2.30	72.72
<i>Trachinotus rhodopus</i>	67	1.11	73.83
<i>Haemulon flaviguttatum</i>	76	1.26	75.09
Otras 120 especies	1503	24.91	100.00

Especies	Biomasa total (kg)	I.R.	I.R. Acum.
<i>Microlepidotus brevipinnis</i>	531.29	20.34	20.34
<i>Caranx caninus</i>	447.99	17.15	37.48
<i>Caranx caballus</i>	203.02	7.77	45.26
<i>Kyphosus analogus</i>	108.03	4.14	49.39
<i>Caranx sexfasciatus</i>	84.64	3.24	52.63
<i>Katsuwonus pelamis</i>	168.98	6.47	59.10
<i>Scomberomorus sierra</i>	141.21	5.41	64.50
<i>Lutjanus guttatus</i>	49.45	1.89	66.40
<i>Trachinotus rhodopus</i>	26.42	1.01	67.41
<i>Haemulon flaviguttatum</i>	25.45	0.97	68.38
Otras 120 especies	826.01	31.62	100.00

Este efecto de desplazamiento de especies, generado por el fenómeno tropicalizante, afecta económicamente y de manera considerable a los pescadores artesanales, ya que algunas de las especies desplazadas como *Lutjanus guttatus* (figura 1), considerada como de primera calidad, que aparece en segundo lugar de abundancia numérica y de biomasa, y que además aporta \$ 35.00 por kg a la actividad pesquera, prácticamente desaparece, y es desplazada por la especie *Caranx caninus* (figura 2) que en periodo de El Niño es muy abundante, pero con baja aceptación en el mercado, pues sólo aporta al pescador \$ 2.00 por kg,

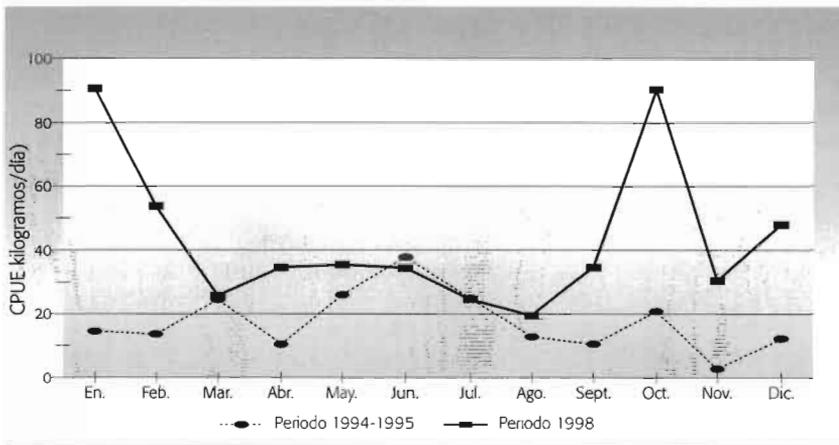


Figura 1. Comportamiento de la especie *Lutjanus guttatus*, desplazada por el fenómeno tropicalizante.

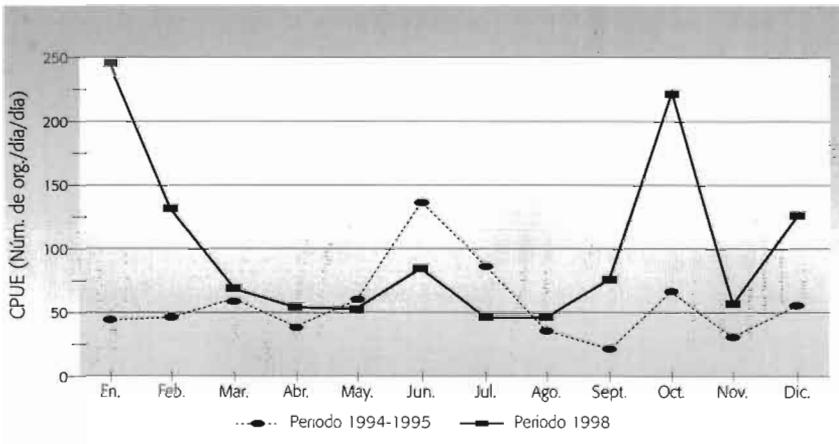


Figura 2. Comportamiento de la especie *Caranx caninus*, muy abundante en periodos El Niño.

lo cual en términos concretos hace a la actividad pesquera artesanal poco rentable durante los periodos anormales.

Evidentemente el fenómeno El Niño altera algunas actividades productivas, como es el caso de las pesquerías artesanales con redes agalleras, las cuales se ven afectadas de manera negativa dada la cultura alimenticia de nuestro país, al categorizar a las especies como de primera, de segunda y de ínfima calidad, sin considerar su contenido nutricional que desde el punto de vista científico podría ser similar. En ese sentido, las actividades de investigación del Centro de Ecología Costera, mediante proyectos de investigación como el que aquí se presenta, abordan el conocimiento de los recursos pesqueros de las costas de Jalisco y Colima con miras al mejor uso de estos recursos dentro del marco del manejo integral de la zona costera, a fin de aprovechar los excesos positivos provocados por El Niño, mitigando con ello un poco la versión fatalista del fenómeno.

---

## Referencias

- Aguilar Palomino, B.; Mariscal, R.J.; González, S.G.; Rodríguez, I.L.E. "Ictiofauna demersal de fondos blandos de la plataforma continental de Jalisco y Colima, México, en la primavera de 1995", *Ciencias Marinas* 22(4), 1996.
- Allen, G.R., and Robertson, D.R. *Fishes of the Tropical Eastern Pacific*, University of Hawaii Press, 1994, 332 p.
- Castro, A.J.L.; Arvizú, M.J., y Páez, B.J. "Contribución al conocimiento de los peces del Golfo de California", *Revista Soc. Mex. Hist. Nat.* 31, 1970, pp. 107-181.
- González Sansón, G.; Aguilar Palomino, B.; Arciniega, F.J.; García de Quevedo Machaín R.; Godínez Domínguez, E.; Landa Jaime V.; Mariscal Romero, J.; Michel Morfín E.J., y Saucedo Lozano, M. "Variación espacial de la abundancia de la fauna de fondos blandos en la plataforma continental de Jalisco y Colima, México, en la primavera de 1995", *Ciencias Marinas* 23(1), 1997, pp. 93-110.
- Jordan, D.S., and Evermann, B.W. "The Fishes of North and

Middle America”, *Bull. U.S. Natl. Mus.* (47), 1896-1900, pp. 1-3313.

Meek, S.E., and Hildebrand, S.F. “The Marine Fishes of Panama”, *Zool. Series* 15, parts 1-3, Field Mus. Nat. Hist., 1923-1928, 1045 p.

Miller, D.J., and Lea, R.N. “Guide to the Coastal Marine Fishes of California”, *Fish. Bull.* 157, Calif. Dept. Fish and Game, 1972, 249 p.

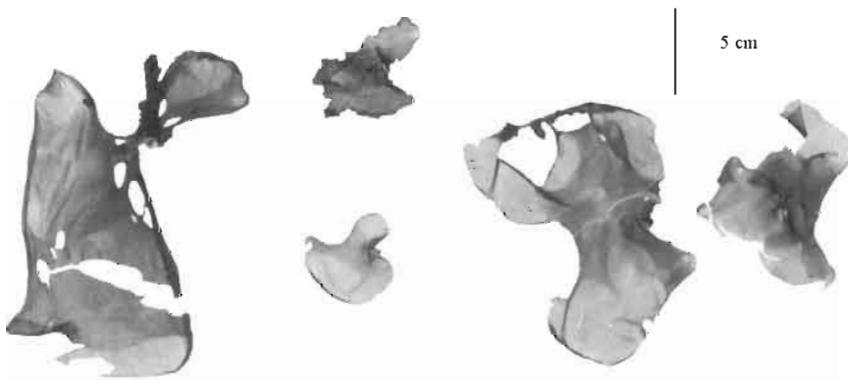
---

## EL NIÑO 1997-1998 Y SUS EFECTOS SOBRE LOS GRANDES VOLÚMENES DE LA LECHUGA DE MAR DEL GOLFO DE CALIFORNIA

I. Pacheco Ruiz, F. Becerril Bobadilla, J.A. Zertuche González, A. Chee Barragán, A. Gálvez Télles y R. Blanco Betancourt

Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Universidad Autónoma de Baja California (UABC)

**L**a lechuga de mar o luche es el nombre común que recibe una alga marina (vegetal marino) color verde, cuyo nombre científico es *Ulva lactuca* L. (figura 1). Esta alga se utiliza como alimento para humanos y animales. Sobre ella se midió por primera vez el efecto del evento conocido con el nombre común de El Niño 1997-1998 en el Golfo de California.



---

Figura 1. *Ulva lactuca*.

Técnicamente El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) es un evento periódico caracterizado por incrementos en la temperatura superficial del agua de mar a lo largo de las costas del Ecuador y Perú. Estos cambios son tan significativos que se extienden por el Pacífico, de tal forma que las aguas subtropicales se introducen en el Golfo de California incrementando su temperatura superficial normal en alrededor de 4°C. Esto conlleva una disminución significativa en la cantidad de nitratos en el agua de mar, nutrientes (alimento) esenciales para la vida vegetal marina del océano. Otro efecto directo causado por este tipo de fenómenos, es el desplazamiento de la influencia de huracanes a zonas donde normalmente no se presentan, que trae como consecuencia efectos negativos inesperados a las zonas afectadas (Dayton y Tegner, 1984).

Este trabajo describe el efecto de El Niño 1997-1998 en la estructura y estabilidad de la población marina del alga verde *U. lactuca*, que forma grandes mantos (densidades de tejido) en la costa noroeste del Golfo de California, con frondas (láminas) que miden 1.5 metros (m) de largo por 0.7 m de ancho, en promedio; sin embargo, el alga más grande detectada midió 5.0 m de largo por 2.0 m de ancho. En general, las láminas de *U. lactuca* se agrupan en fondos arenosos de bahías y ensenadas entre los tres y los siete m de profundidad frente a las grandes islas del Golfo de California. En esta región se localizaron cuatro mantos de lechuga de mar (*U. lactuca*) durante los veranos de 1995 y 1996, denominados de norte a sur: bahía Guadalupe, ensenada Alcatraz, ensenada El Pescador y ensenada Las Palomas (figura 2). Entre los cuatro, antes del evento El Niño, cubrían un área total de 150 hectáreas (ha), después del evento dicha área disminuyó en un 53%, ya que sólo se localizaron 70 ha. La biomasa producida por todos los mantos, es decir, la cantidad de tejido que existía antes del evento El Niño 1997-1998, era de 500 toneladas secas (ts) (Pacheco Ruiz *et al.*, 2000). Sin embargo, y como consecuencia de El Niño, en la primavera de 1998 el tejido producido sólo fue de 90 ts, es decir, 82% menos tejido que el producido en años previos normales (figura 3).

Con el trabajo de investigación llevado a cabo (Pacheco Ruiz *et al.*,



Figura 2. Localización de los mantos de *Ulva lactuca*.

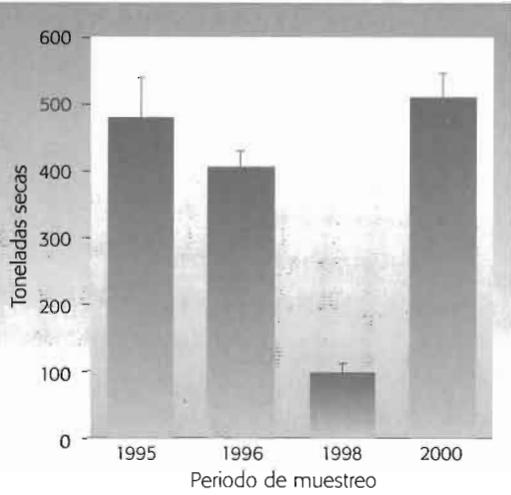


Figura 3. Variación anual de la biomasa de *Ulva lactuca* en la costa noroeste del Golfo de California ( $\pm = IC, n > 150$ ).

2000a), por primera vez se demostró que en el Golfo de California El Niño 1997-1998 afectó severamente las poblaciones de algas y en particular la de *U. lactuca*. Lo anterior se atribuyó científicamente a la fuerte y negativa correlación entre la temperatura y la concentración de nutrientes, ya que *U. lactuca* crece muy bien en condiciones de baja temperatura y alta concentración de nutrientes (nitratos), algo que no se presenta durante un evento como El Niño. Además del efecto drástico que tuvo el huracán llamado Nora en 1997, que subió por el Pacífico y atravesó el Golfo de California, provocó fuertes marejadas que desprendieron las nuevas plantitas de la lechuga de mar en desarrollo (reclutas) de las bahías y ensenadas donde se localizan estos mantos. Todo esto, en conjunto, generó que el número de plantas en crecimiento fuera bajo, repercutiendo en una disminución de tejido en las zonas. Sin embargo, a pesar de la catástrofe ocurrida sobre *U. lactuca*, estimaciones hechas en la primavera del 2000 revelaron que cuando las condiciones oceanográficas volvieron a la normalidad en la zona, las biomásas de esta alga verde se recuperaron en un

100%, generando los mantos en su conjunto 510 ts, biomásas muy similares a las registradas en años previos al evento (figura 3) (Pacheco Ruiz *et al.*, 2000b).

El Niño 1997-1998 se pronosticó en mayo de 1997, unos seis meses antes de que se produjera. Las investigaciones realizadas en forma adecuada de este evento El Niño y sus resultados permitirán elaborar pronósticos sobre sus efectos en el futuro, lo que podrá contribuir a una preparación adecuada para prevenir pérdidas tanto humanas como económicas. Por consiguiente, es de suma importancia aprovechar el conocimiento científico generado a partir de estos eventos, haciendo caso a los efectos y advertencias relacionados con los fenómenos El Niño.

---

### Referencias

- Dayton, P., and M. Tegner. "Catastrophic Storms, El Niño, and Patch Stability in a Southern California Kelp Community", *Science* 224, 1984, pp. 283-284.
- Pacheco Ruiz, I., J. A. Zertuche González; A. Chee Barragán and A. Gálvez Télles. "*Ulva lactuca* (L.) Beds Along the West Coast of California Gulf", *Bot. Mar.*, 2000a, en prensa.
- Pacheco Ruiz, I., J. A. Zertuche González; A. Chee Barragán; A. Gálvez Télles and R. Blanco Betancourt. "El Niño on Beds of *Ulva lactuca* (L.) along the Northwest Coast of the Gulf of California", *Geof. Int.*, 2000b, en prensa.

---

# EL NIÑO EN LAS COMUNIDADES DE PECES MARINOS DE LAS MONTAÑAS SUBMARINAS DEL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Arturo Muhlia Melo

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (Cibnor)  
Apartado Postal 128  
La Paz, B.C.S., México

---

## Orografía-hidrografía-comunidades

**E**n la porción sur del Golfo de California se encuentra un conjunto de montañas submarinas cercanas a las costas de la península de Baja California. Las Ánimas, Bajo Espíritu Santo (BES), La Reina, cerca de la isla Cerralvo, el Bajo Gorda, el Bajo San Jaime y el Bajo Todos Santos son los más conocidos en la región. Estos lugares se han caracterizado por ser sitios donde comúnmente se pueden encontrar peces de tallas grandes como tiburones, peces de pico (*marlin* rayado, *marlin* azul, *marlin* negro, pez vela), atunes (atún de aleta amarilla, barrilete, entre otros) y dorados, y son sitios atractivos para la pesca deportiva y, en algunos casos, para la pesca comercial, lo que los convierte también en zonas de importancia económica. Por los altos niveles de captura en la pesca deportiva, estas localidades son muy atractivas en el plano mundial.

Las montañas submarinas emergen del fondo marino. Los efectos físicos que éstas tienen en el ambiente son de diferentes tipos: cambios en los patrones de circulación, en la estructura termohalina y en la profundización de la capa de mezcla. Esta última se define como la capa que va de la superficie hasta donde se presenta un cambio brusco de temperatura, llamada también termoclina. En condiciones nor-

males esta capa de mezcla llega hasta los 30 m; sin embargo, en condiciones anormales, como cuando se presenta El Niño, ésta se profundiza hasta más de 100 metros.

La variabilidad estacional en los movimientos de las masas de agua locales en la porción sur del Golfo de California, aunada a los fenómenos interanuales climáticos como El Niño, tiene su efecto en los movimientos migratorios de los grandes peces pelágicos. Estos organismos tienden a agregarse en las montañas submarinas e islas, por lo que es factible registrar los movimientos de los adultos por medio de marcas ultrasónicas y con instalaciones de estaciones de rastreo. Los adultos de estas especies pueden identificarse mediante censos visuales. Estos lugares también pueden ser sitios de reproducción y alimentación, por lo que es importante estudiar la presencia de las larvas, resultado de recientes puestas o desoves. Estos últimos pueden obtenerse por medio de muestreos ictioplanctónicos, es decir, con redes de malla fina.

Desde 1995 se han venido haciendo estudios sobre estas comunidades. Con objeto de caracterizar la oceanografía alrededor de las montañas submarinas, se realizaron algunos cruceros, y también se colocaron estaciones de registro continuo con monitores para detectar la presencia de los adultos de las especies indicadoras de las comunidades con marcas ultrasónicas. Junto a los monitores se instalaron sensores de temperatura para obtener series completas de temperatura.

Los grandes pelágicos son peces que se caracterizan, además de su talla, por tener grandes desplazamientos tanto horizontales como verticales en la columna de agua. Se dice que son generalistas oportunistas porque pueden obtener muy diverso alimento, dependiendo del lugar donde se encuentren.

El Golfo de California muestra una compleja estructura de masas de agua. De la superficie a los 100 m de profundidad se encuentra la masa de agua del Golfo de California que se mezcla con la masa de agua ecuatorial superficial, de los 100 a los 500 m de profundidad se encuentra la masa de agua subtropical subsuperficial, y debajo de los 500m se encuentra la masa de agua intermedia del Pacífico. Existe

también la masa de agua de la corriente de California que tiene poca contribución, ya que en la entrada del Golfo de California se mezcla con la masa de agua del propio Golfo o con la ecuatorial superficial.

---

### **Objetivo del estudio**

Las montañas submarinas adquieren importancia desde el punto de vista ecológico de las comunidades pelágicas por la presencia de las agregaciones de las larvas y de los adultos de los grandes peces pelágicos, que son indicadores de la riqueza biológica del lugar. Los trabajos realizados en estos estudios tuvieron como objeto describir las condiciones hidrográficas durante el fenómeno El Niño 1997-1998 y la respuesta de las comunidades de estos organismos, utilizando índices ecológicos.

---

### **Resultados del estudio**

Durante la presencia de El Niño (noviembre de 1997), la capa de mezcla en las montañas submarinas del Bajo Espíritu Santo se profundizó a los 70 m y se extendió a 15 km alrededor de ésta. Los grandes pelágicos pasan la mayor parte del tiempo dentro de esta capa de mezcla y hacen migraciones verticales a aguas más profundas. La profundidad de estas migraciones varía según la estación del año o las condiciones ambientales. Sobre la montaña y a la misma profundidad de la capa de mezcla se encontró una capa de baja densidad.

En el sur del Golfo de California se observó la presencia de un sistema de circulación ciclónica que corresponde al patrón de circulación encontrado con anterioridad a 1979. Respecto a la orografía de las montañas submarinas, se estudió con mayor detalle la del Bajo Espíritu Santo que está formada por dos cimas cercanas a la superficie entre 15 y 25 m, separadas aproximadamente unos 200 m. Entre la montaña submarina del Bajo Espíritu Santo y la isla Espíritu Santo se encuentra una cuenca con una profundidad de 890 m, cuyo eje corre paralelo al del Golfo de California.

---

### **Las larvas de peces pelágicos**

La diversidad de larvas presentes en la montaña Espíritu Santo du-

rante El Niño 1997-1998 observó una disminución en comparación con la mostrada en años no Niño (1996). Las temperaturas para las mismas fechas del año fueron 2°C más altas durante El Niño 1997-1998, sin embargo, se observa una respuesta positiva en la presencia de larvas de especies de afinidad tropical durante El Niño, encontrando más de 50% de especies con estas características.

Con respecto a los adultos registrados por medio de censos visuales, la diversidad fue mayor que la de las larvas, sin embargo, no hubo diferencia en comparación con años normales, mostrando también mayor presencia de especies de afinidad tropical.

---

### **Comportamiento del atún aleta amarilla**

Los 23 atunes de aleta amarilla marcados con transmisores ultrasónicos durante 1998 presentaron dos tipos de comportamiento: el de residencia, en el cual los atunes permanecen en la montaña submarina de manera cotidiana, y el de estancias temporales, en el cual los individuos regresan a ésta después de prolongados periodos de ausencia. Algunos de los individuos marcados siguieron siendo registrados en la montaña submarina durante más de 18 meses.

---

### **Agradecimiento**

Expreso mi reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para desarrollar la presente investigación, por medio de los proyectos PN-2600 y 008-PN-1297.

---

## **V. LA SALUD HUMANA**



---

# INVESTIGACIÓN PSICOLÓGICA Y CAMBIOS CLIMÁTICOS<sup>1</sup>

Benjamín Domínguez Trejo, Guadalupe Esqueda Mascorro,  
Ma. Consuelo Hernández Troncoso y Ricardo Márquez Rangel

Facultad de Psicología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria  
04510 México, D.F.

---

## ¿Y después de la tormenta... viene la calma?

**C**uando una persona enfrenta situaciones que le provocan mucha inestabilidad emocional o tiene experiencias muy estresantes generadas por desastres naturales (huracanes, sequías, inundaciones, incendios), o cuando alguien llega a ser víctima o sobreviviente de guerras, delitos violentos, accidentes fatales, agresiones físicas o violaciones, algunos pueden superarlos fácilmente u olvidarlos; sin embargo, no para todos “llega la calma” después de haber experimentado un evento traumático. En estos casos las personas afectadas desarrollan una sensación de “pérdida de control”, produciéndose elevados niveles de estrés que ocasionan profundas alteraciones en la conducta, que afectan su vida familiar, social, escolar y laboral.

Las investigaciones que realizamos con los sobrevivientes del huracán Paulina nos demostraron que, además de que no a todos les llega la calma después de la tormenta, a algunos sólo les queda el recuerdo de lo que tenían de la familia y amigos que perdieron, y se quedan con la sensación de que ya no son los mismos, que han “cambiado rotundamente después de haber vivido y sobrevivido al desastre”.

---

<sup>1</sup> Proyecto Impacto humano del fenómeno El Niño, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, referencia 098 PÑ 1297.

---

### **Llueve sobre mojado**

Debido a que no todos los seres humanos son iguales, algunos no requieren de ayuda psicológica para recuperarse, lo hacen solos y muy bien, y otros únicamente necesitarán de uno a tres meses para estabilizarse y reintegrarse a su vida cotidiana. Pero en un grupo más pequeño de individuos, los síntomas siguen presentándose hasta incapacitarlos de por vida, mostrando en ellos un deterioro progresivo, tanto psicológico como físico.

Si después de pasar por una experiencia que resulta imposible de olvidar, se presentan síntomas como pesadillas, recuerdos constantes sobre el evento, irritabilidad, dificultad para conciliar el sueño, necesidad de alejarse deliberadamente de los estímulos asociados con él, se puede tener la certeza de que se está experimentando estrés post-traumático.

---

### **Lo que queda después del aguacero**

El trabajo que a continuación compartiremos con ustedes es el resultado de años de investigación psicológica, en la que ha sido necesario integrar esfuerzos con diversas disciplinas afines al comportamiento humano, como la biología, la medicina e incluso la ingeniería electrónica.

El 21 de octubre de 1987 a tan sólo dos días de la llegada del huracán Paulina a las costas de Guerrero, antes llenas de turistas y vacacionistas asoleándose en las arenas cálidas, éstas se encontraban vacías, irreconocibles, llenas de escombros y desperdicios; la arena había invadido las calles y avenidas cercanas a la Costera, los suelos se habían levantado, las tuberías rotas dejaban escapar el vital líquido por todas partes, el agua de los ríos había arrasado con viviendas completas, llevándose a sus habitantes y todo aquello que se encontraba a su paso. Se respiraba un olor a muerte y desolación; había gente sin hogar, sin familia, sin un lugar donde descansar. Sus testimonios eran desgarradores, hombres, mujeres y niños hablaban de sus experiencias.

“A mí me estaba arrastrando el agua, yo sentía que algo me repujaba para abajo y arriba, mi hermanito tenía una piedra en sus pies...

después, cuando me sacaron, pensaba que mis hermanitos estaban vivos... pero no, estaban muertos todos.” (testimonio de Maricela, 10 años de edad, sobreviviente a la que se le dio un lugar para vivir bajo la tutela de un familiar en la Unidad Coret Sedesol 1, de Acapulco, Gro. Marzo de 1998).

---

### **Enfrentar y sentir dolor es parte de la sobrevivencia humana**

Ante tal escenario, diversos especialistas (psicólogos, biólogos, inmunólogos), encargados de evaluar el impacto humano del fenómeno El Niño, iniciamos un plan de actividades para determinar el tipo de recursos que se necesitaban y la ayuda que había que desplegar; adicionalmente, nos dedicamos a evaluar cada una de nuestras actividades para poder contestar preguntas como: ¿Qué efectos producen los cambios climáticos en las personas? ¿Los efectos son iguales en todas ellas? ¿Qué tipo de personas pueden resultar más afectadas? ¿Cuál es el tipo de ayuda más conveniente en cada caso? De acuerdo con las necesidades y para dar respuesta a nuestras preguntas, este trabajo se dividió en tres fases:

- En la primera, se integró un grupo de especialistas e investigadores en el control y manejo de estrés postraumático para atender las necesidades psicológicas más apremiantes, ya que el impacto había sido devastador. Se ofreció atención psicológica a la población en general mediante programas de radio y televisión, en los que se dieron instrucciones para el manejo de los síntomas de estrés a fin de que éstos pudieran ser identificados y entendidos a tiempo; asimismo, atención directa y tratamiento a las personas instaladas en los albergues, ayudando con ello a que pudieran hablar de su sufrimiento, confirmándose la presencia de los síntomas de estrés postraumático en algunas personas, y otras, a pesar de las condiciones en las que se encontraban, ya estaban buscando la manera de salir de ahí, viendo dónde reubicarse con sus propios recursos.
- En la segunda, se trabajó en determinar el grupo de personas que corría el riesgo de desarrollar estrés postraumático, debido a que persistían los síntomas antes mencionados y éste aún se encontraba

sumamente alterado. Para esta tarea se utilizaron procedimientos como entrevistas cortas, cuestionarios sobre síntomas de estrés postraumático, y evaluaciones inmunológicas, obteniendo una muestra de 510 sujetos, de los cuales se determinó trabajar inicialmente con 99 adolescentes de una secundaria y con 68 adultos, todos ellos reubicados en la unidad Coret Sedesol 1 y con la experiencia en común de haber sufrido la pérdida de sus familiares y sus pertenencias.

- En la tercera, se trabajó de inmediato con la población seleccionada, se programaron e instalaron siete talleres para el control y manejo del estrés postraumático, formando grupos de adultos, adolescentes y niños para ayudarlos a enfrentar la experiencia traumática, poner en palabras sus emociones y compartir con otros las experiencias por las que habían atravesado. Se utilizó equipo y tecnología de punta con la que evaluábamos momento a momento cómo cambiaban las personas al recordar sus experiencias dolorosas, observando así la temperatura periférica, tasa cardiaca y respuesta inmunológica en saliva. Con toda esta información se pudo evaluar de manera precisa el comportamiento humano, así como sus respuestas emocionales y fisiológicas ante estos desastres, y se dirigió la atención psicológica individual especializada a todos aquellos que resultaron más vulnerables.

Después de trabajar durante 14 meses, se realizó un seguimiento en los tres meses siguientes para corroborar el impacto de la atención psicológica y los cambios logrados en la adaptación, y encontramos que esta experiencia nos permitió la adopción de instrumentos útiles para medir con excelente precisión las reacciones y el impacto del estrés postraumático para nuestra población.

Las evaluaciones psicofisiológicas e inmunológicas constituyen una técnica útil para que los psicólogos y otros especialistas obtengan datos confiables. Encontramos que los puntajes altos en los cuestionarios aplicados, asociados a bajos niveles de inmunoglobulina (IgA) en saliva, confirmaron que ciertos sujetos eran más vulnerables al estrés.

Los talleres de control de estrés postraumático constituyeron pa-

quetas de intervención terapéutica no invasiva y costeable, para que las personas pudieran pasar de ser víctimas a sobrevivientes en un plazo reducido.

Corroboramos la importancia de hablar sobre las experiencias traumáticas (expresión emocional) como parte de la reducción de síntomas, cambios en la conducta y mejoras en la salud.

Se comprobó la eficacia del equipo electrónico de fabricación nacional para medir los cambios fisiológicos, probado clínicamente en escenarios naturales de clima extremo (mucho calor y humedad).

---

### **¿Por qué ante el desastre, unos fueron afectados y otros no?**

Conocer que un problema se avecina y anticiparse a él es importante, pero sigue siendo insuficiente. Ante los desastres naturales es necesario identificar oportunamente y evaluar con precisión a los sobrevivientes, para poder contribuir a su recuperación selectivamente.

El concepto de vulnerabilidad al estrés permite determinar, psicofisiológicamente con mayor precisión, qué personas podrían superar los efectos de un desastre a corto plazo con poca o ninguna ayuda y quiénes requerirán atención por periodos más prolongados.

Esta línea de investigación complementa otras que han reconocido que los cambios climáticos afectan de manera no lineal el comportamiento humano, creando incluso condiciones ventajosas que hay que identificar también en el terreno psicológico.

Los desastres también pueden ser experiencias de aprendizaje con la capacidad de capitalizarse para fomentar el desarrollo de repertorios de prevención y adaptación a largo plazo.

Cada una de estas experiencias se suma a los esfuerzos que facilitan la comprensión de la relación comportamiento-ambiente como fenómeno complejo.

---

### **Bibliografía**

Domínguez, B.; Martínez, G.; Hernández, C.; Esqueda, G.; Olvera, Y.; Lizano, M.; Flores, M.A.; Morales, A.L., y Tam, L. "Medición

del dolor y el estrés en niños”, *Ciencia y Desarrollo*, vol. XXIV, núm. 142, 1998, pp. 36-43.

Kiecolt Glaser, J.R., y Glaser, R. “Psychoneuroimmunology: Past, Present and Future”, *Health Psychology* 8, 1989, pp. 677-682.

Vernberg, E.; La Greca, A.; Silverman, W., y Prinstein, M.  
“Prediction of Posttraumatic Stress Symptoms in Children After Hurricane Andrew”, en *Journal of Abnormal Psychology*, vol. 105, núm. 2, 1996, pp. 237-248.

---

# EL IMPACTO DEL FENÓMENO EL NIÑO/ OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS) Y SU RELACIÓN CON LAS MAREAS ROJAS EN MÉXICO

José Luis Ochoa y Salvador Lluch Cota

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (Cibnor)  
Apartado Postal 128  
La Paz, B.C.S., México

---

## Resumen

**L**a relevancia del impacto socioeconómico y ecológico que las mareas rojas tóxicas, en asociación con el fenómeno El Niño, están teniendo en México empieza a reconocerse. El análisis de la información disponible en las costas del Pacífico mexicano señala la impostergable necesidad de incrementar la capacidad de investigación en este campo, especialmente por el aumento de casos de intoxicación y pérdidas de vidas humanas, así como por las mortandades masivas de aves, peces, tortugas y mamíferos marinos provocadas por sustancias nocivas de origen marino presentes de manera natural en nuestros litorales. El caso México presenta características particulares que impiden la extrapolación y aplicación de estudios realizados en otras regiones con problemática similar, por lo cual (para dictar medidas pertinentes para el adecuado manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos del mar) se requiere profundizar en su conocimiento.

---

## Introducción

En la actualidad, los países con litoral experimentan a nivel mundial una importante urgencia por el aprovechamiento de los recursos marinos en sus costas. El crecimiento de la población, la contaminación

y degradación de los sistemas lacustres, estuarinos y oceánicos provocados por la actividad humana hace esta tarea cada vez más relevante. En este sentido, uno de los fenómenos naturales de mayor interés por sus múltiples manifestaciones es la marea roja tóxica (o afloramiento de microalgas nocivas).

Algunos efectos de la marea roja se manifiestan como enfermedades y muerte de animales terrestres, incluso del hombre, provocadas por el consumo de productos del mar contaminados; otros, mediante varamientos de mamíferos marinos, aves y peces en las costas. La pesca y la acuicultura en general, como actividades económicas, han sufrido grandes mermas y en algunos casos importantes bancos de almeja, ostión, mejillón, etc., han sido cerrados a la explotación por el peligroso contenido de sustancias tóxicas.

Las mareas rojas tóxicas se han visto incrementadas en años recientes. Por ejemplo, en el Océano Atlántico y en el Golfo de México, los eventos de marea roja tóxica pasaron de 74 a 329 en el periodo de 1974 a 1994, y los varamientos de ballenas, delfines y marsopas, de casi cero (1972) a 1 400 (1994). La mortandad masiva de peces y la irrupción de enfermedades, hasta entonces inadvertidas, sumaron casi 140 eventos durante 1996. En materia de salud pública, de apenas dos casos registrados en 1966, la cifra se elevó a 118 en 1996, denotando la condición de alteración que vienen sufriendo nuestros mares. Explicaciones a estos fenómenos incluyen actividades humanas tales como el reemplazamiento de humedales y de comunidades de manglares y salineras por estanques para acuicultura, así como la introducción de especies nuevas por medio de las balastas de los barcos, el “sembrado” de semilla de moluscos y su procesamiento, o alteraciones en la calidad de los cuerpos de agua costeros provocadas por lluvia ácida, deforestación o contaminación. La vinculación de los afloramientos de fitoplancton nocivo con el fenómeno climático de El Niño (ENOS) en otras regiones del orbe está siendo considerada, por lo cual sobre la base del evento del bienio 1997-1998 se consideró apropiado ahondar en los orígenes y la dinámica de las mareas rojas tóxicas que afectan particularmente a México, lo cual se resume en el presente trabajo.

---

## Impacto de las mareas rojas

Conviene tener en cuenta, antes que todo, que el costo asociado a este tipo de eventos, cuando involucra la pérdida de seres humanos, es inestimable. En los casos menos severos, el costo de un incidente—como el de *pfisteria* ocurrido en los Estados Unidos en 1997—rebasó la cifra de 60 millones de dólares, erogados para cubrir la hospitalización de víctimas y las labores de saneamiento. En Nueva Zelanda, durante el verano 1997-1998, el dinoflagelado *Gymnodinium cf. Mikimotoi* causó afecciones respiratorias y de la piel a más de 200 personas y se relacionó con mortandades masivas de infantes de lobos marinos y peces como atún, pez de pico (*marlin*), pez espada, erizos de mar, estrellas de mar y abulón. En Sudáfrica, también en el verano de 1997, se observó un afloramiento masivo de *Cerratum furca*, *Alexandrium catenella* y *Dinophysis acuminata* que provocó el agotamiento de nutrientes. La descomposición de esta gran biomasa disminuyó la concentración del oxígeno en el cuerpo de agua hasta niveles imperceptibles, provocando el varamiento de casi dos mil ton de langosta *Jasus lalandii* con pérdidas que fueron estimadas en más de 50 millones de dólares. Por otra parte, los moluscos de la zona rebasaron el límite de toxicidad permitido en concentración de la toxina paralizante PSP (80 µg/100 g de tejido), presentándose dos casos de muerte por ingestión de *Donax serra* y de *Mytulis galloprovincialis* y cuatro marinos hospitalizados, lo que llevó a las autoridades a declarar la veda por un periodo de cinco meses.

En México, los afloramientos nocivos de microalgas han ido también en aumento, afectando seriamente la salud de poblaciones como La Paz, Mazatlán, Acapulco, Huatulco, etc., con serias repercusiones económicas derivadas de la veda y la prohibición del consumo de organismos marinos. En los últimos 20 años se han documentado al menos 500 casos de intoxicación que requirieron hospitalización y más de 20 decesos. El costo por la aplicación de medidas restrictivas, en un intento de controlar el impacto, se estima en cientos de millones de pesos y ha dejado sin sustento a un sinnúmero de personas, agravando la situación de pobreza extrema, miseria y violencia que actualmente padecemos.

Prácticamente todo el litoral del Pacífico mexicano, incluido el

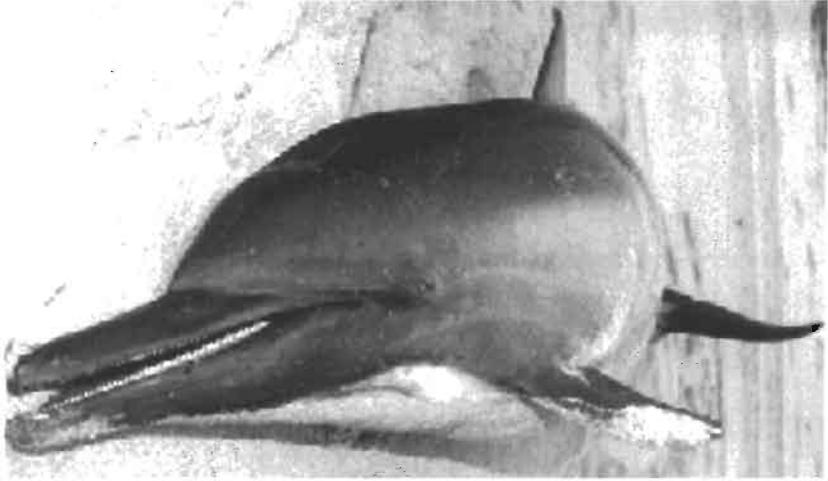


*Figura 1. Las mareas rojas son frecuentemente espectaculares y se conocen desde los tiempos bíblicos.*

Golfo de California o Mar de Cortés, ha sido involucrado en afloramientos tóxicos de distinta naturaleza y origen. La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) dio a conocer en sus informes anuales de 1996 y 1997 la preponderancia de las mareas rojas sobre otros eventos considerados también de contingencia ambiental. Resulta de particular interés que condiciones tan distintas a lo largo del litoral se conjuguen con situaciones de asentamientos humanos de alta densidad, intensa actividad agrícola o acuícola y/o la extracción petrolífera como elementos que pueden influir en el origen y dinámica de los afloramientos nocivos. También han sido las zonas turísticas de mayor atractivo (Los Cabos, Mazatlán, Vallarta, Acapulco-Zihuatanejo y Huatulco) las más afectadas. En todos estos casos, al parecer, los cambios en las condiciones oceanográficas a gran escala sugieren la asociación de los eventos de toxicidad con el fenómeno El Niño.

### **Origen y dinámica de las mareas rojas**

Se ha confirmado que –mundialmente– 300 especies de organismos (o sea, un 7%) de las 3 400-4 100 que componen el fitoplancton del



*Figura 2. Delfín varado en las costas de Sinaloa en 1997, presumiblemente por intoxicación, debido a una marea roja generada por una diatomea productora de ácido domóico.*

océano producen mareas rojas, y que de este número sólo entre 60-80 (o sea, un 2% del total) están plenamente identificadas como dañinas (por medio de la producción de toxinas, daño físico, anoxia, reducción de irradiación y alteración del estado nutricional de los organismos que las consumen), así como también que la ubicación geográfica y la gran biodiversidad que caracteriza a México hace posible encontrar representada en nuestro país a buena parte de ellas.

Cuando las condiciones lo permiten, el afloramiento masivo de fitoplancton puede observarse como un cambio de coloración del mar, que pasa de un amarillento turbio a un café rojizo, hasta alcanzar un intenso púrpura (figura 1). Esta coloración ocurre en forma de parches o manchas en la superficie y tiene normalmente pocos metros de espesor, aunque se puede extender por cientos de kilómetros. Esta forma peculiar de condensación alude a una situación de calma o ausencia de vientos que produzcan la mezcla del agua superficial con aguas profundas. También la transparencia y la penetración de la luz, la estratificación de la temperatura, las condiciones de salinidad y una mayor concentración de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  disueltos, favorecen los afloramientos. Lo anterior, no obstante, sólo se logra después de un periodo de tur-

bulencia o agitación provocado por vientos que dan origen a surgencias, las cuales contribuyen a resuspender los nutrientes y el material biológico frecuentemente sedimentado en forma de quistes, mientras que las lluvias contribuyen con el acarreo de nutrientes de los esteros o a través de las bocas de ríos. Adicionalmente, la eutroficación por actividad humana –como factor determinante en la inducción o proliferación de mareas rojas– debe tomarse en cuenta.

Por otra parte, la capacidad de las algas tóxicas para acumular la

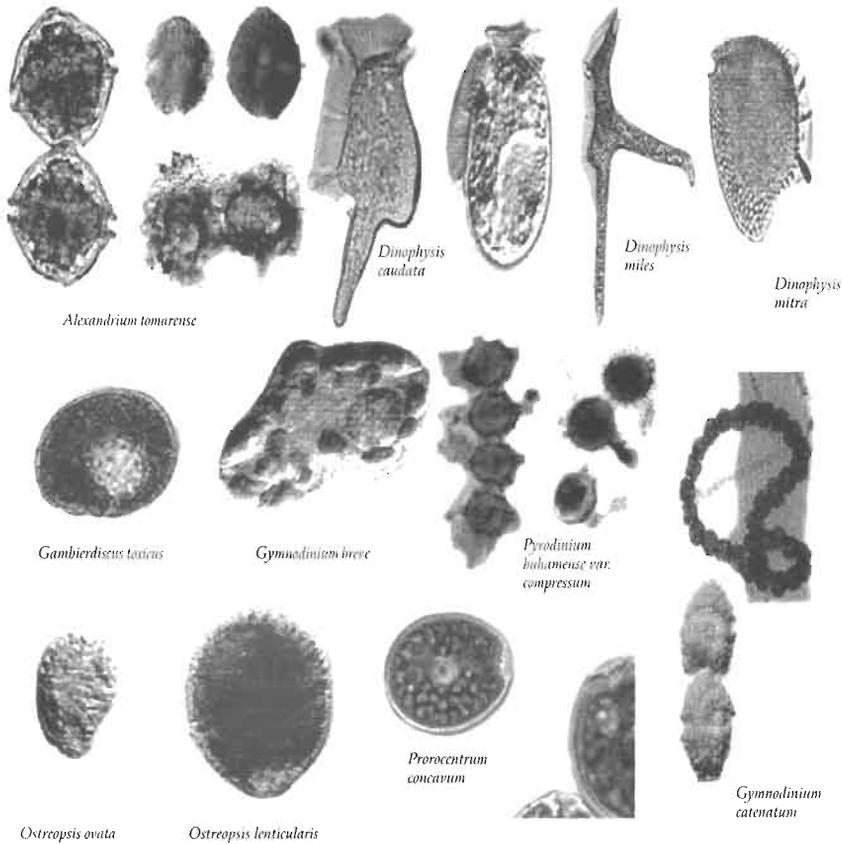


Figura 3. Organismos tóxicos generadores de marea roja.

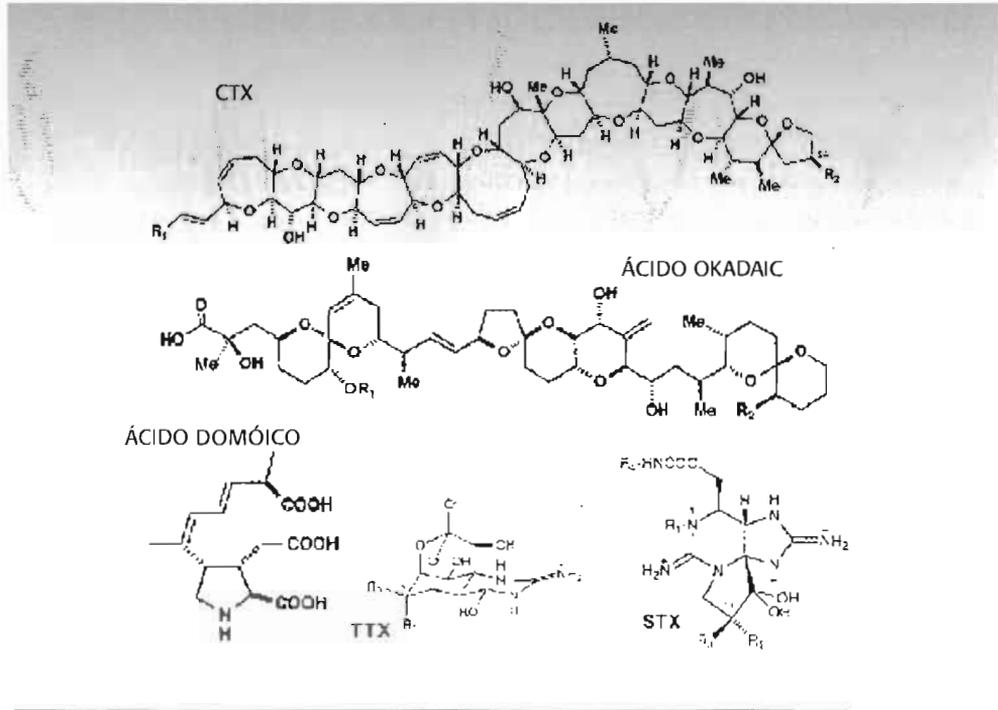


Figura 4. Estructura y composición química de toxinas marinas.

toxina y el número y la cantidad de las distintas toxinas, o sea, su composición (figura 4), están influidas por factores ambientales y genéticos. Las toxinas parecen ser productos del metabolismo secundario y se les han asignado diversas funciones. Si tomamos en cuenta la diversidad de su estructura química, es posible inferir que se requieren muchos pasos en la maquinaria biosintética para su generación, y que muchos de éstos son únicos y altamente especializados. Por tanto, no es conveniente generalizar sobre los hallazgos en otras regiones respecto a la composición y abundancia de las toxinas en los dinoflagelados tóxicos. Existen profundas diferencias entre aislamientos de diferentes zonas geográficas que están determinados por las distintas condiciones ambientales. Tampoco es buena idea asumir que los dinoflagelados encontrados en otras regiones correspondan a los que pode-

mos detectar en el litoral mexicano. Hay que admitir que los moluscos filtradores pueden acumular toxinas, especialmente si dichos organismos entran en su dieta preferida, sin embargo, no contamos con estudios realizados en México sobre los hábitos alimenticios de las especies comerciales de moluscos y acerca de su capacidad de concentración y de depuración de toxinas, por lo que las vedas pueden no siempre ser justificables o adecuadas.

En otro contexto, si consideramos a las balastas de los barcos mercantes como proveedoras potenciales de organismos fitoplanctónicos tóxicos de otras regiones, es necesario establecer un acuerdo internacional y medidas efectivas respecto al recambio de las aguas de las balastas en el océano medio, así como implantar un tratamiento preventivo (como el *shock* térmico) e instalar un sistema de alarma portuaria para analizar la composición fitoplanctónica de las aguas de las balastas antes de que éstas se viertan en los muelles. Es la única opción para evitar la diseminación de organismos tóxicos en todo el mundo. Estudios recientes describen el efecto del intercambio de agua en el océano medio de barcos cuya ruta va de Manzanillo, Colima, a Hong Kong. El análisis microscópico de las balastas de los barcos en dicha ruta sugiere que, no obstante el efecto de carecer de luz durante 21 días en la transportación, algunos dinoflagelados y diatomeas que provenían de Manzanillo se encontraron todavía viables al arribar a Hong Kong. En el caso de los barcos que recambiaron el agua en el océano medio en esta ruta, la densidad de organismos disminuyó sensiblemente (de 838 células/l a 436), lo que significa una eficiencia del 48% en la reducción del número de organismos exógenos por esta acción. Sin embargo, todavía se identificó como viable un total de 30 especies de diatomeas y cuatro de dinoflagelados procedentes de Manzanillo, que corresponden a organismos de amplia distribución (*Bacteriastrium varians*, *Chaetoceros denticulatum*, *Pseudonitzschia pungens* y *Skeletonema costatum*), por lo cual no se consideran introducidas. De las especies tóxicas halladas en Manzanillo, la diatomea *P. pseudodelicatissima*, productora de ácido domóico, es considerada la de mayor riesgo para Hong Kong, por lo que ya se están adoptando algunas medidas preventivas.

---

## **Asociación entre las mareas rojas y El Niño**

Existe consenso entre los expertos de que las fases alternas de El Niño/La Niña deben estudiarse con mayor cuidado para poder realizar extrapolaciones a las que el cambio climático global puede conducirnos. La sucesión de los fenómenos ocurridos en 1982-1983 y 1997-1998, por ejemplo, hacen pensar que la ocurrencia de eventos extremos como El Niño y La Niña van en aumento. Las interacciones de los ENOS y las oscilaciones bidecadales y de baja frecuencia dan lugar a un patrón de alternancia de estados cálidos y fríos, con una ocurrencia de periodos más cálidos cada 50 a 75 años. Las transiciones súbitas de frío a caliente, como la ocurrida en 1977-1978, se presentan cuando las fases bidecadal y las oscilaciones de baja frecuencia coinciden. Con este enfoque, una nueva transición a un estado de enfriamiento podría ocurrir en el año 2001. El hecho de que los eventos ENOS y la precipitación pluvial estén relacionados ha sido reconocido y hace pensar que las predicciones de dichos eventos tendrían un impacto significativo en la agricultura y en la pesca. En las costas de la península de Baja California, por ejemplo, los estudios relacionados con la abundancia, distribución y estructura de la comunidad de eufásidos se correlaciona con las variaciones provocadas por eventos de tipo ENOS registrados en los años 1982-1983 y 1986-1987. El fenómeno ENOS de 1982-1983, por su parte, produjo condiciones favorables para el desarrollo de la cianobacteria *Oscillatoria erythrae* en la costa de Mazatlán, Sinaloa.

---

## **Conclusión**

La preocupación por el impacto de las mareas rojas en el ambiente y en la salud de los consumidores de organismos marinos no es injustificada. La oportuna detección de este tipo de contingencia ambiental puede significar importantes ahorros en costos de tratamiento o de depuración, cuando los organismos de importancia comercial o ecológica se encuentran afectados. Existe, por tanto, una gran presión para el desarrollo e introducción de nuevos métodos viables y efectivos para detectar y caracterizar estos eventos. La experiencia dicta la importancia de los monitoreos continuos de largo plazo que permi-

ten indicarnos el grado o las tendencias en que se pueden presentar los fenómenos de marea roja. La comprensión cada vez mayor de la influencia del fenómeno El Niño nos ayudará a estar mejor preparados para atenuar los daños de dichas contingencias ambientales.

---

**Lecturas recomendadas**

Ochoa, J.L., y Sierra Beltrán, A.P. "Mareas rojas en México", *Ciencia* 50, 1999, pp. 7-16.

Cortez Altamirano, R. *Las mareas rojas*, México, AGT Editor, S.A., 1998.

---

# EL NIÑO 1997-1998. IMPACTO EN LA BIOMASA DE DINOFLAGELADOS EN BAHÍA CONCEPCIÓN, GOLFO DE CALIFORNIA

Ismael Gárate Lizárraga,<sup>1</sup> David J. López Cortés,<sup>2</sup> José J. Bustillos Guzmán,<sup>2</sup> Francisco E. Hernández Sandoval<sup>1,2</sup> e Iván Murillo Murillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (Cicimar-IPN), Laboratorio de Fitoplancton  
Apartado. Postal 592  
La Paz, B.C.S., México

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (Cibnor)  
Apartado Postal 128  
La Paz, B.C.S., México

---

## El Niño y sus efectos

**E**l evento El Niño aparece irregularmente frente a las costas del Pacífico sudamericano y está asociado a un incremento en la temperatura en el nivel medio del mar, un hundimiento de la termoclina, una disminución en la intensidad de las surgencias y, por consiguiente, una reducción en la concentración de los principales componentes nutritivos (fosfatos, nitratos y silicatos) (Guillén *et al.*, 1985), lo cual repercute en el crecimiento y desarrollo de las comunidades del fitoplancton, que es el primer eslabón de la cadena trófica marina. La respuesta de los productores primarios a este evento se refleja en la disminución de su biomasa, en su distribución espacial y en su composición específica. Es por ello que las alteraciones de esta cadena alimenticia básica repercuten en los niveles tróficos superiores, como las diferentes especies de moluscos, las larvas de peces, el zooplancton, y los peces de importancia comercial, principalmente en las regiones costeras del Pacífico oriental.

Sin embargo, algunos ecosistemas acuáticos pueden responder de manera diferente a este evento, como el Golfo de California, principalmente su región central y norte. Este mar semicerrado se vuelve altamente productivo por su topografía, hidrografía y climatología

(Robles y Marinone, 1987). Está documentado que durante El Niño se incrementa la productividad primaria y la biomasa del fitoplancton, como consecuencia del aumento de los nutrientes transportados por la corriente subsuperficial subtropical (Baumgartner *et al.*, 1985). Con base en estos planteamientos, el presente trabajo pretende mostrar los efectos provocados por El Niño 1997-1998 en la temperatura del agua, así como en la biomasa de dinoflagelados, grupo formador de mareas rojas o florecimientos algales nocivos (FANs) en Bahía Concepción.

---

### **Influencia de El Niño en los florecimientos algales nocivos o mareas rojas**

La disminución de la intensidad de las surgencias durante el evento El Niño provoca hundimiento de la capa de mezcla y emersión de aguas cálidas y pobres en nutrientes (Fielder, 1984). De acuerdo con Cortés Altamirano (1994), Cortés Altamirano *et al.* (1995a y 1995b), Manrique y Molina (1997) y Ramírez Camarena *et al.* (1999), las principales especies responsables de mareas rojas en el Golfo de California, como *Noctiluca scintillans*, *Mesodinium rubrum* y *Gymnodinium catenatum* proliferan después del periodo de surgencias. Es por ello que este tipo de florecimientos masivos se ven disminuidos durante El Niño y se incrementan durante los periodos no Niño (Cortés Altamirano, 1987).

No obstante, otros estudios han señalado que el calentamiento y el empobrecimiento de nutrientes (oligotrofia) que ocurren durante el evento El Niño pudieran estar provocando la proliferación de algas tóxicas. Estos autores encontraron una relación estrecha entre la ocurrencia de mareas rojas del dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* y los eventos El Niño 1972-1974 y 1982-1983, y en una distribución geográfica más amplia, debido a la intensidad que presentaron dichos eventos de calentamiento global (Barber *et al.*, 1983), lo cual puede ser una estrategia oportunista de algunos grupos del fitoplancton para permanecer dentro del plancton y ampliar su distribución.

Una de las causas que provoca la disminución de la producción biológica de las aguas superficiales durante el evento El Niño está aso-

ciada a la emersión de aguas subsuperficiales o del fondo del mar, conocidas como surgencias, las cuales transportan nutrientes a la superficie, por lo que en algunos ecosistemas marinos se les asocia con la proliferación masiva de algunos grupos fitoplanctónicos y en términos generales se les conoce como formadores de mareas rojas. Se ha documentado que la presencia y duración de estas mareas, provocadas por dinoflagelados, y la del protozooario *Mesodinium rubrum* en el Golfo de California, particularmente en las costas de Guaymas, Mazatlán y bahía de La Paz, fueron asociadas a los procesos de surgencia.

### Florecimientos algales nocivos (FANs) en Bahía Concepción

Bahía Concepción se localiza en la costa occidental del Golfo de California entre los 26°33' y 26°53' N y 111°41' y 111°57' O (figura 1). Esta bahía es un ecosistema altamente productivo, influido por aguas de la región central del Golfo de California, que se incrementa en invierno por efecto de los vientos del noroeste (Reyes Salinas, 1994; Lechuga Devèze *et al.*, 2000). Con base en la estructura térmica y algunas variables químicas, se ha establecido que en determinadas épocas del año en esta bahía predominan condiciones hidrográficas particulares; tenemos, por ejemplo, que desde finales del otoño hasta principios de la primavera la columna de agua es homogénea, mientras que para el verano es estratificada (Reyes Salinas, 1994).

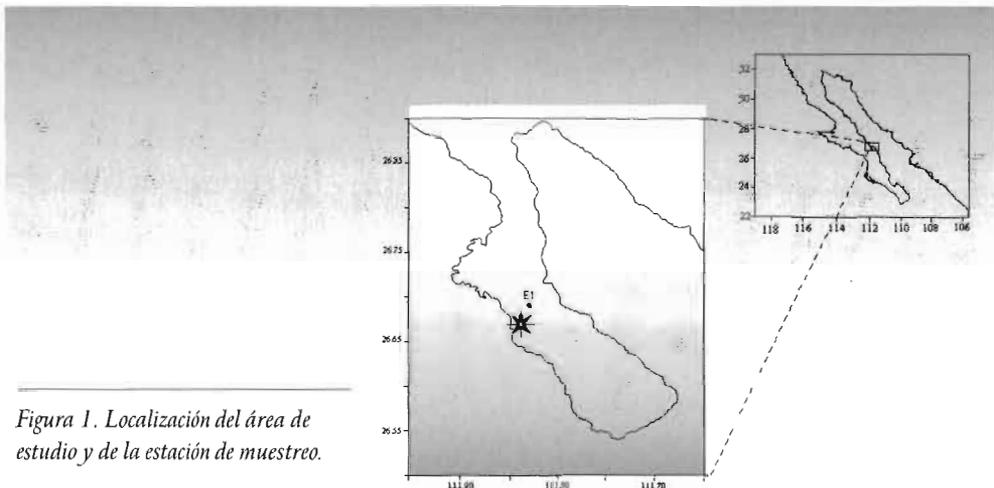


Figura 1. Localización del área de estudio y de la estación de muestreo.



Figura 2. Marea roja de *Noctiluca scintillans* en Bahía Concepción.



Figura 3. Florecimiento de color verde-oliva ocurrido en Bahía Concepción.

Las mareas rojas son eventos comunes en esta bahía (Kiefer y Lasker, 1986; Gárate Lizárraga, 1991; Gárate Lizárraga, 1995, y Lechuga Devèze *et al.*, 2000), particularmente de los dinoflagelados *Gymnodinium sanguineum* y *Noctiluca scintillans* (figura 2). Por otra parte, un gran número de especies formadoras de mareas rojas tóxicas y no tóxicas ha

sido reportado como parte importante de la comunidad fitoplanctónica de este cuerpo de agua costero (Martínez López y Gárate Lizárraga, 1994 y 1997; Verdugo Díaz, 1997; Lechuga Devèze y Morquecho Escamilla, 1997; Lechuga Devèze *et al.*, 2000, y Gárate Lizárraga *et al.*, en prensa). La coloración de los florecimientos algales dependerá de los pigmentos que caractericen a las especies en cuestión; así, pueden observarse mareas verde-olivo producidas por clorofitas o prasinofíceas (figura 3). Por otra parte, también se ha evaluado la presencia de diversas toxinas en las poblaciones de moluscos bivalvos en Bahía Concepción (Lechuga Devèze y Morquecho Escamilla, 1997, y Sierra *et al.*, 1996); lo anterior es de gran importancia ya que representa un problema de salud humana para las pesquerías regionales. Las principales toxinas que se han encontrado son las siguientes: PSP (envenenamiento paralítico por consumo de moluscos), producida principalmente por especies del género *Alexandrium* y *Gymnodinium*; DSP (envenenamiento diarreico por consumo de moluscos), producida por especies del género *Dinophysis*, y ASP, toxina vinculada al grupo de las diatomeas del género *Pseudonitzschia* (Falconer *et al.*, 1992, y Hallegraeff, 1993).

---

### **Trabajo de campo y laboratorio**

Con la finalidad de evaluar el impacto de El Niño en Bahía Concepción durante dos años consecutivos (1997, 1998), en una estación ubicada en la parte central de dicha bahía (figura 1) se obtuvieron muestras de agua con una botella Van Dorn a diferentes profundidades (0-30 m) para medir la temperatura y cuantificar los pigmentos fotosintéticos; la primera se determinó con un termo-salino-metro Kahlsico. En la actualidad, la caracterización pigmentaria de las comunidades fitoplanctónicas se aborda mediante la técnica de HPLC, ya que nos permite tener una idea rápida y precisa sobre la clase o grupo fitoplanctónico al cual pertenecen la especie o la comunidad en cuestión. Por ejemplo, la peridinina es un pigmento que se utiliza para caracterizar al grupo de los dinoflagelados, cuya identificación y cuantificación se hizo de acuerdo con el trabajo de Bustillos Guzmán *et al.* (1995), y utilizando el método de Vidussi *et al.* (1996).

### Evidencias de El Niño en Bahía Concepción

En mayo de 1997 se observó un incremento superficial en la temperatura del agua y en agosto del mismo año en toda la columna de agua. En mayo de 1998 se observó un decremento en la temperatura superficial, pero no así a mayor profundidad; para agosto de ese año se observó que el calentamiento del agua disminuyó. Eso nos hizo suponer que en Bahía Concepción los efectos de El Niño se presentaron desde el segundo semestre de 1997 hasta finales de 1998. Lo anterior coincide con lo informado por Hernández Carmona (1997), quien encontró que en Bahía Asunción la temperatura media a 10 m durante el primer semestre de 1997 era similar al valor medio de la temperatura registrada entre 1988 y 1996, lo cual significa que aún no existía la influencia de El Niño 1997-1998. Sin embargo, para septiembre de 1997, la anomalía en la temperatura ya era de más de 7°C, lo que implica que el efecto de calentamiento asociado a este fenómeno estaba presente. Si consideramos el periodo en que se presentan los efectos primarios del fenómeno en las costas de Sudamérica, encontramos que los efectos de El Niño en el Golfo de California, particularmente en la región de Bahía Concepción, aparecieron luego del primer semestre de 1997.

Después de las diatomeas, los dinoflagelados son el grupo domi-

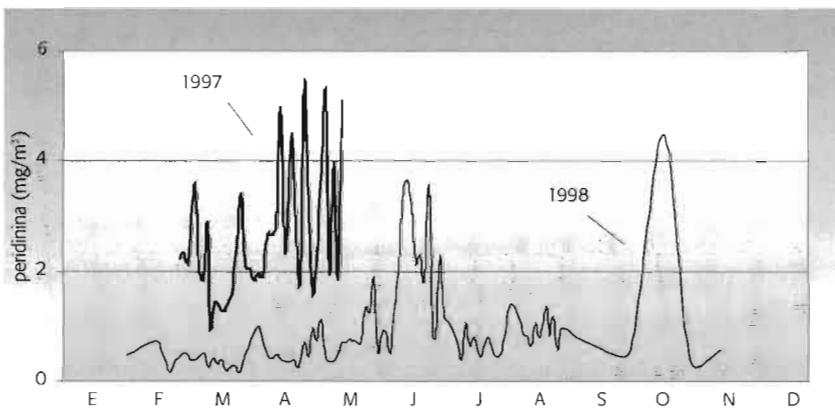


Figura 4. Variación de la peridina ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) para 1997 y 1998 en Bahía Concepción.

nante que conforma la comunidad del fitoplancton en Bahía Concepción (Gárate Lizárraga, 1991 y 1995; Martínez López y Gárate Lizárraga, 1994 y 1997; Verdugo Díaz, 1997; Lechuga Devèze y Morquecho Escamilla, 1997, y Lechuga Devèze *et al.*, 2000). La biomasa de dinoflagelados, expresada como peridininina, es particularmente elevada durante el periodo de estudio, aun cuando las concentraciones fueron más altas en 1997 que durante 1998 (figura 4). Este hecho nos permite suponer que el fenómeno El Niño afectó negativamente al grupo de los dinoflagelados, y en consecuencia la presencia de florecimientos algales nocivos fue menor. Este hecho se relacionó con una transición hidrográfica temprana y una rápida estratificación de la columna de agua.

---

### Literatura citada

- Bustillos Guzmán, J.; H. Claustre and J-C. Marty. "Specific Phytoplankton Signatures and their Relationship to Hydrographic Conditions in the Coastal Northwestern Mediterranean Sea", *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 124, 1995, pp. 247-258.
- Baumgartner, T.; V. Ferreira Bartina; H. Shrader, and A. Soutar. "A 20 Year Varve of Siliceous Phytoplankton Variability in the Central Gulf of California", *Mar. Geol.*, 64, 1985, pp. 113-129.
- Cortés Altamirano, R. "¿Las mareas rojas están aumentando en las costas de México?", *Boletín informativo de la Sociedad Mexicana de Planctología, A.C.*, núm. 4, 1994.
- Cortés Altamirano, R.; D.U. Hernández Becerril, y R. Luna Soria. "Evaluación y prevención de los efectos de las mareas rojas en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México (1994)", *Ciencias del Mar*, 14, UAS, 1995a, pp. 10-14.
- Cortés Altamirano, R.; D.U. Hernández Becerril, y R. Luna Soria. "Mareas rojas en México: una revisión", *Rev. Latinoamericana de Microbiol.*, 37, 1995b, pp. 343-352.
- Cortés Altamirano, R.; A. Núñez Pasten, y N. Pasten Miranda. "Abundancia anual de *Gymnodinium catenatum* Graham, dinoflagelado tóxico de la costa este del Golfo de California", *Ciencia y Mar*, 350, 1999, p. 56.

- Falconer, I.R.; A. Choice, and W. Hosja. "Toxicity of Edible Mussels (*Mitylus edulis*) Growing Naturally in a Stuary during Winter Bloom of the Blue-Green Algae *Nodularia spumigea*", *Environm. Toxicol. Water Quality*, 7, 1992, pp. 119-123.
- Fielder, P.C. "Satellite Observations of the 1982-1983 El Niño along the U.S. Pacific Coast", *Science*, 224, 1984, pp. 1251-1254.
- Gárate Lizárraga, I. "Análisis de una marea roja causada por *Noctiluca scintillians* (Mcartney) Ehr. en Bahía Concepción, B.C.S., en febrero de 1989", *Rev. Invest. Cient.* 2(1), 1991, pp. 35-43.
- \_\_\_\_\_. "Mareas rojas en Bahía Concepción, B.C.S., México", *Rev. Invest. Mar., Boletín* 40, Cicimar-IPN, 1995.
- Gárate Lizárraga, I.; M.L. Hernández Orozco; C. Band Schmidt, and G. Casillas Serrano. "Red Tides along the Coasts of the Baja California Peninsula, Mexico (1984 to 1999)", *Oceanides* (en prensa).
- Guillén, O.; N. Lostaunau, y M. Jacinto. "Características del fenómeno El Niño 1982-1983", pp. 11-22, en W. Arntz, A. Landa, and J. Tarazona (eds.), "El Niño, su impacto en la zona marina", *Biol. Inst. Mar Peru*, vol. extraordinario, 1985.
- Hallegraeff, G. M., and C. J. Bolch. "Transport of Diatom and Dinoflagellate Resting Spores Via Ship's Ballast Water: Implications for Plankton Biogeography and Aquaculture", *J. Plankton Res.*, 14, 1992, pp. 1067-1084.
- Hallegraeff, G.M. "A Review of Harmful Algal Blooms and their Apparent Global Increase", *Phycologia*, 32(2), 1993, pp. 79-99.
- Hernández Carmona, G. "El fenómeno El Niño 1997-1998 y las primeras consecuencias en la península de Baja California", *Boletín* 58, Cicimar-IPN, 1997.
- Kiefer, D., and R. Lasker. "Two Blooms of *Gymnodinium splendens* an Unarmored Dinoflagellate", *Fish. Bull.* 73(1), 1975, pp. 675-678.
- Lechuga Devèze, C., and M.L. Morquecho Escamilla. "Early Spring Harmful Phytoplankton in Bahía Concepción, Gulf of California", *Bull. Mar. Sci.*, 64, 1999, pp. 1-10.

- Lechuga Devèze, C.; M.L. Morquecho Escamilla; A. Reyes Salinas, and J.R. Hernández Alfonso. "Environmental Natural Disturbance at Bahía Concepción, Gulf of California", en Munawar, M.; S.G. Lawrence; I.F. Munawar, and D.F. Malley (eds.), *Ecosystem of Mexico: Status and Scope*, Netherlands, Backhuys Publishers b.v, 2000, 435 p.
- Maclean, J.L. "Indo-Pacific Red Tides, 1985-1988", *Mar. Poll. Bull.*, 20, 1989, pp. 304-310.
- Manrique, F.A., y R.E. Molina. "Presencia de mareas rojas en la Bahía de Bacochibampo, Guaymas, Sonora, México", *Hidrobiológica*, 7, 1997, pp. 81-84.
- Martínez López, A. "Efectos del evento El Niño 1982-1983 en la estructura del fitoplancton en la costa occidental de Baja California Sur", tesis de maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., 1993.
- Martínez López, A., e I. Gárate Lizárraga. "Cantidad y calidad de la materia orgánica particulada en Bahía Concepción, en la temporada de reproducción de la almeja catarina *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835)", *Ciencias Marinas* 20(3), 1994, pp. 301-320.
- Reyes Salinas, A. "Relación entre estructura hidrográfica y la abundancia, distribución y origen de diferentes expresiones de biomasa del seston orgánico en Bahía Concepción, Golfo de California", tesis de licenciatura, UNAM, Campus Iztacala, 1994, 53 p.
- Robles, J.M., and S.G. Marinone. "Seasonal and Interannual Thermo-haline Variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California", *Cont. Shelf Res.*, 7, 1987, pp. 715-733.
- Rosales Loessener, F.; E. de Porras, and M.W. Dix. "Toxic Shellfish Poisoning in Guatemala", en T. Okaishi, D.M. Anderson, y T. Nemoto (eds), *Red tides: Biology*, New York, Environmental Science and Toxicology Elsevier Science Publishing, 1989, pp. 113-116.
- Verdugo Díaz, G. "Cambios estacionales del fitoplancton y de la

composición bioquímica del material orgánico particulado en Bahía Concepción, B.C.S.”, tesis de maestría, Cicimar-IPN, 1997, 100 p.

Vidussi, F.; H. Claustre; J. Bustillos Guzmán; C. Cailleau, and J-C. Marty. “Rapid HPLC Method for Determination of Phytoplankton Chemotaxonomic Pigments: Separation of Chlorophyll *a* from Divinyl-chlorophyll *a* and Zeaxanthin from Lutein”, *J. Plankton Res.*, 18, 1996, pp. 2377-2382.

---

## **VI. LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA COMO INDICADOR**



---

# EFECTO DE LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIMENTOS SOBRE EL RECLUTAMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE *Macrocystis pyrifera* EN BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO, DURANTE EL FENÓMENO EL NIÑO 1997-1998

Gustavo Hernández Carmona,<sup>1,2</sup> Daniel Robledo,<sup>3</sup> Elisa Servière Zaragoza,<sup>2</sup> Edgardo Ochoa López,<sup>1</sup> Ignacio Sánchez Rodríguez,<sup>1</sup> Rafael Riosmena Rodríguez<sup>4</sup> y Oscar Cano Mancio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (Cicimar-IPN)

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (Cibnor)

<sup>3</sup> Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav)-Mérida

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS)

---

## Introducción

**E**l fenómeno El Niño tiene como consecuencia un incremento anómalo de la temperatura del agua de mar y una reducción en la concentración de nutrientes. En la costa del Pacífico de Baja California los eventos de El Niño de 1982-1983 y 1997-1998 ocasionaron la desaparición de las poblaciones del alga café *Macrocystis pyrifera*, desconociéndose cuál es el principal factor que causa la mortalidad. Durante El Niño de 1982-1983 se perdieron más de 100 mil toneladas de *M. pyrifera* en Baja California y 28% de esta biomasa nunca se recuperó en 50 km de costa del límite sur de su distribución. El presente estudio se llevó a cabo durante El Niño de 1997-1998, para determinar si el reclutamiento y la supervivencia de juveniles de las poblaciones del alga *M. pyrifera* en el límite sur de su distribución estuvieron afectados por la elevada temperatura o por los bajos niveles de nutrientes.

---

## Métodos

Los experimentos se realizaron en la Isla Asunción, Baja California Sur, a 10 m de profundidad (figura 1). El efecto de la disponibilidad de nutrientes sobre el reclutamiento de *M. pyrifera* se estudió de

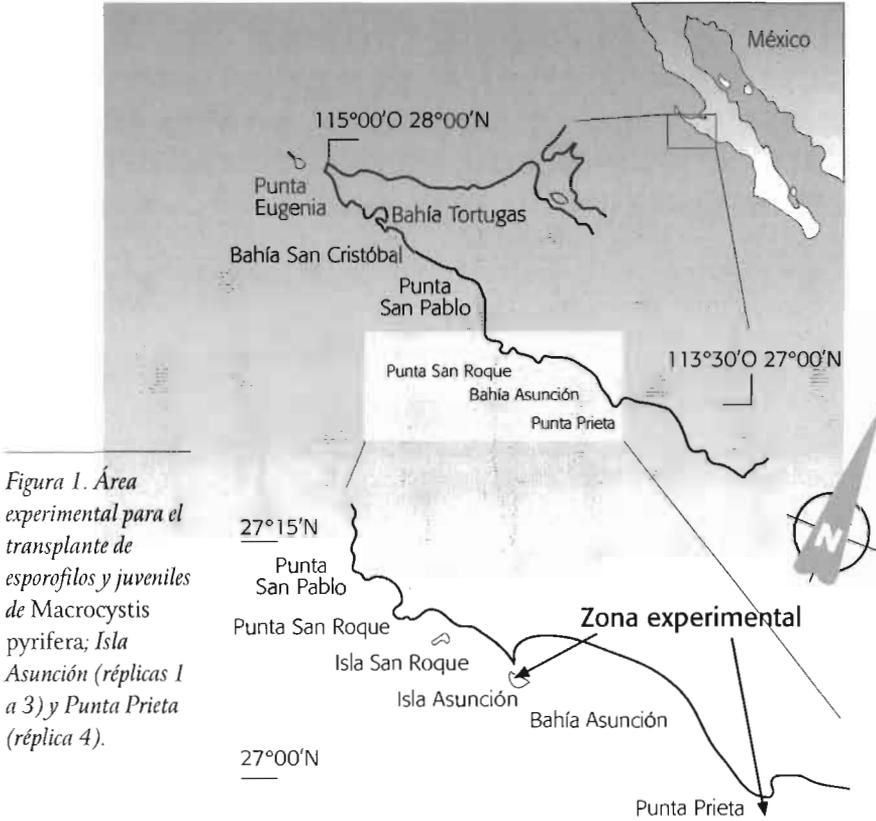


Figura 1. Área experimental para el transplante de esporofilos y juveniles de *Macrocyctis pyrifera*; Isla Asunción (réplicas 1 a 3) y Punta Prieta (réplica 4).

abril a diciembre de 1998. Se empleó un diseño de bloques con dos factores: con láminas reproductoras o esporofilos (con y sin nutrimentos) y sin esporofilos (con y sin nutrimentos). En total cuatro tratamientos con cuatro réplicas. Cada cuadrante experimental se separó por una distancia de 10 m y cada combinación se colocó en un cuadrante de un m<sup>2</sup>, distribuidos al azar. Para cada tratamiento se colocó una base de cemento con una jaula a fin de introducir los esporofilos que liberarían las esporas para el desarrollo de nuevas plantas (reclutas) (figura 2). El suministro de nutrimentos se realizó colocando dos tubos perforados de PVC a los lados de las jaulas, los cuales se llenaron mensualmente con ocho kg de un fertilizante inorgánico de liberación controlada, a base de sales de nitrato de amonio, fosfato y potasio. Los esporofilos se recolectaron en San Diego, California (abril-

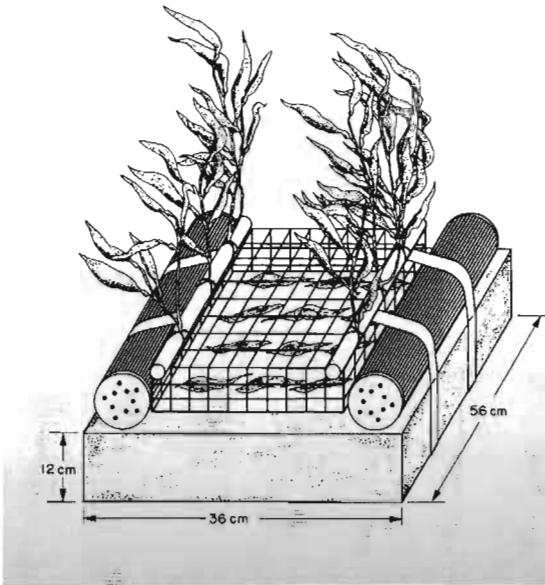


Figura 2. Base de concreto empleada para sembrar el área experimental con esporofilos de *M. pyrifera* y para sujetar los juveniles.

agosto de 1998) y Punta Eugenia (septiembre-diciembre de 1998), se transportaron en hieleras y se sembraron en la Isla Asunción. Como parámetro de respuesta, se registró mensualmente el número de reclutas de *M. pyrifera* (plantas > 1.5 cm de largo). El efecto de los nutrimentos sobre la supervivencia de juveniles de *Macrocyctis pyrifera* se estudió de junio a diciembre de 1998. Se colectaron plantas juveniles (230 cm) de Bahía Tortugas, desprendiéndolas del fondo manualmente y se transportaron en hieleras al sitio de transplante. Las plantas se sujetaron a las mismas jaulas que se emplearon en el experimento de reclutamiento. Se transplantaron 13 plantas en los tratamientos con nutrimentos y 13 en los que carecían de nutrimentos. Se registró mensualmente el número de supervivientes y de frondas, y su talla. Los datos fueron comparados empleando una prueba de hipótesis sobre la diferencia entre la proporción de supervivientes de la población fertilizada contra la población no fertilizada. Se tomaron registros diarios de temperatura superficial y de fondo del agua de mar. Los datos se compararon con registros de largo plazo de temperaturas de 1989 a 1996. Se tomaron muestras mensuales del agua de mar para determinar la concentración de nitratos en el ambiente natural

(no fertilizado) y en los cuadrantes fertilizados. Con los datos de temperatura se obtuvo la relación temperatura-nutrientes mediante una regresión lineal.

Se tomaron muestras de tejido de los juveniles que crecieron en los tratamientos con nutrientes y sin nutrientes y se analizó el contenido de nitrógeno.

## Resultados

En Bahía Asunción, el promedio de temperatura superficial de los registros de largo plazo (1989-1996) varió entre 14.1 y 21.8°C. Durante el periodo julio de 1997 - agosto de 1998, se presentaron condiciones de un año El Niño con temperaturas más altas de lo normal. El primer pico se presentó en septiembre de 1997 con 27.4°C (5.7°C más de lo normal) y el segundo en agosto de 1998 con 23.1°C (3.6°C más de lo normal) (figura 3). A partir de septiembre de 1998 la tendencia cambió a valores ligeramente menores de lo normal, debido a las condiciones de La Niña (agua fría con altos nutrientes), iniciando con 1.3°C abajo de lo normal y concluyó en junio del 2000. Durante 1998, las concentraciones ambientales de nitratos en las áreas no fertilizadas fueron bajas durante la mayor parte del año (0.65-3.5µM) y sólo se elevaron durante la primavera (4.8-18.8 µM). La concentración promedio de nitratos en las áreas fertilizadas siempre

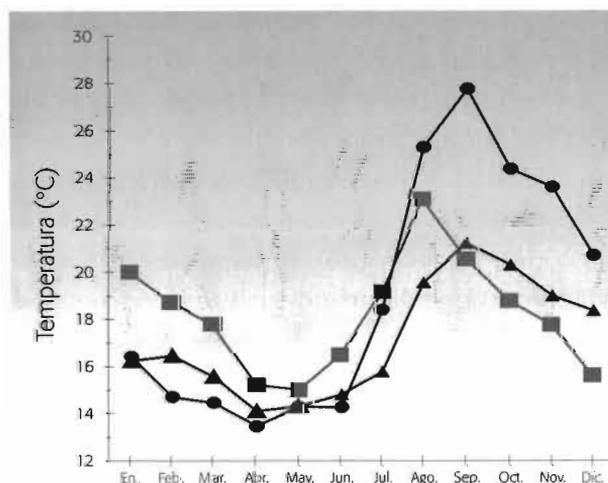


Figura 3. Temperatura superficial promedio mensual en Bahía Asunción durante 1989-1996 (—▲—); El Niño 1997 (—●—) y El Niño-La Niña 1998 (—■—).

fue más alta (25.4  $\mu\text{M}$ ). La relación entre la concentración de nitratos y la temperatura del agua fue altamente significativa ( $r^2 = 0.70$ ), encontrándose el punto crítico de nitratos a los 18.5°C. Esto significa que la concentración de nitratos en el agua con temperatura menor a los 18.5°C generalmente fue mayor a 1.0  $\mu\text{M}$  y con temperaturas del agua arriba de 18.5°C, la concentración de nitratos generalmente fue menor de 1  $\mu\text{M}$ . El contenido de nitrógeno de los tejidos de los juveniles de *M. pyrifera* fue más alto en las plantas fertilizadas (1.24%) que en las plantas sin fertilizar (0.56%). Ninguna planta de *Macrocystis pyrifera* se reclutó en los tratamientos experimentales sin esporofilos, ya sea con nutrientes (cuatro réplicas) o sin nutrientes (cuatro réplicas). Tampoco se presentó reclutamiento en los tratamientos con esporofilos y sin nutrientes. El único tratamiento en el que se obtuvo reclutamiento fue en cuadrantes fertilizados (tres réplicas) y con esporofilos de Punta Eugenia, con un promedio de ocho plantas por  $\text{m}^2$ . Por lo tanto, se obtuvo un reclutamiento significativamente más alto sólo en los tratamientos sembrados con esporofilos y con la adición de nutrientes. En los tratamientos con juveniles de *Macrocystis pyrifera* transplantados y con nutrientes, la supervivencia fue de 67%, presentando supervivientes en tres de las cuatro réplicas. Las ocho plantas supervivientes permanecieron hasta el final del experimento en diciembre de 1998. En los tratamientos con juveniles de *M.*

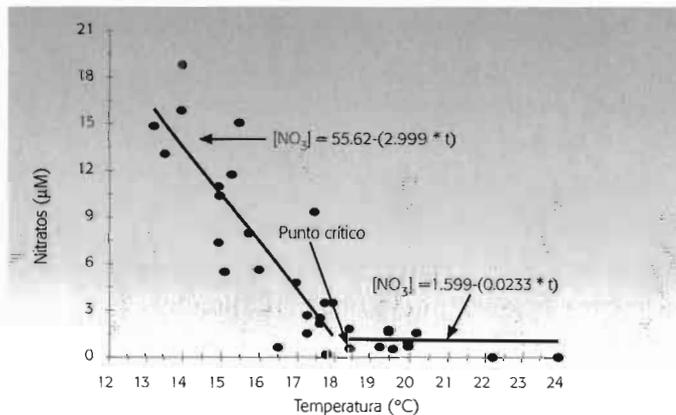


Figura 4. Concentración de nitratos en función de la temperatura del agua de mar. La línea continua muestra la regresión calculada para temperaturas menores de 18.5°C (punto crítico) y mayores de 18.5°C.

*pyrifera* y sin nutrientes, la supervivencia fue de 25% y sólo una de las cuatro réplicas permaneció con tres plantas vivas, las que recibieron aporte de nutrientes de los otros tratamientos fertilizados por el efecto de las corrientes. El análisis estadístico mostró que el número de supervivientes fue significativamente más elevado en el tratamiento con suministro de nutrientes. El crecimiento promedio de las ocho plantas juveniles en los tratamientos con nutrientes fue de 0.57 cm por día y el promedio de frondas se incrementó de 6.5 a 24.5, mientras que el crecimiento promedio en los tratamientos sin nutrientes, pero que tuvo aporte de nutrientes por las corrientes, fue de 1.5 cm por día y el promedio de frondas se incrementó de 6.5 a 35.

### Discusión

En el área de Bahía Asunción, la temperatura del agua se relacionó inversamente con la concentración de nutrientes, presentando la misma tendencia descrita para California. Sin embargo, el punto crítico que separa las aguas con bajos nutrientes de las aguas con altos nutrientes, descrito para California a 15.5°C, se presentó a 18.5°C, por lo tanto, sólo las aguas con temperaturas menores a la anterior tenían suficientes nutrientes para mantener la tasa de crecimiento normal de *Macrocystis pyrifera*. El experimento de 1998 sugiere que la falta de reclutamiento en áreas sin suministro de esporofilos se debió a la carencia de esporas por fuentes naturales. El reclutamiento de octubre de 1998 ocurrió cuando la temperatura del agua estaba ligeramente más baja que el promedio normal, sin embargo, la concentración de nitratos aún era baja (1.1 µM), por lo tanto, los nutrientes suministrados experimentalmente pudieron haber nutrido a las nuevas plantas. A pesar de que el número de reclutas fue bajo (ocho plantas por m<sup>2</sup>), ninguna planta se reclutó en áreas no fertilizadas, sugiriendo que el reclutamiento estuvo limitado por nutrientes durante ese periodo. En el sur de California se ha encontrado que la temperatura más alta a la cual ocurre el reclutamiento es de 18.3°C. En este caso, parece que nuestras plantas resisten mayores temperaturas cuando los nutrientes son elevados. Los resultados del transplante de ju-

veniles sugieren que la fertilización incrementa la supervivencia de juveniles de *Macrocystis pyrifera*. Cuando las plantas juveniles fueron transplantadas en junio de 1998, la temperatura estaba por arriba de lo normal y la concentración de nitrógeno fue de  $1.0 \mu\text{M}$ , la cual es inferior al nivel crítico para mantener el crecimiento normal de *M. pyrifera*. La concentración de nitrógeno en los tejidos de las plantas experimentalmente fertilizadas fue superior y la supervivencia fue mejorada en 1998 por la adición de nutrimentos; esto sugiere que lo que afectó a las plantas no fertilizadas fue la carencia de nutrimentos y no tanto la temperatura. El lento crecimiento de todas las plantas fue el resultado del ramoneo por peces. Las plantas aisladas atraen densidades inusualmente altas de organismos incrustantes y las frondas son consumidas por los peces a una velocidad mucho mayor que la tasa de crecimiento de la fronda.

# EL BLANQUEAMIENTO DE CORAL Y EL FENÓMENO EL NIÑO

Roberto Iglesias Prieto<sup>1</sup> y Héctor Reyes Bonilla<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica Puerto Morelos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

<sup>2</sup>Departamento de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS)

<sup>3</sup>Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Sciences, University of Miami

**L**os arrecifes de coral son uno de los ecosistemas más productivos y diversos del planeta, solamente comparables en ambientes terrestres con las selvas húmedas. Estos ecosistemas se han desarrollado durante los últimos 250 millones de años en las aguas someras pobres en nutrientes de los océanos tropicales. La importancia de los arrecifes coralinos radica no sólo en su gran belleza y enorme riqueza biológica, sino que también son generadores de riqueza económica por medio de actividades turísticas y pesqueras. Los arrecifes coralinos protegen asimismo a la zona costera contra el oleaje de tormentas y huracanes, y son una fuente de productos farmacológicos diversos. Los corales constructores de arrecifes o hermatípicos son el componente más importante de la fauna arrecifal, ya que sus esqueletos calcáreos son responsables tanto del crecimiento como del mantenimiento de la estructura del arrecife. Estos organismos forman una simbiosis mutualista, ecológicamente obligada, con algas unicelulares del grupo de los dinoflagelados. Estas algas, comúnmente conocidas como zooxantelas, desempeñan un papel crucial en la biología de los corales hermatípicos, ya que contribuyen significativamente a la nutrición de los mismos, al exportar la gran mayoría del carbono que fijan durante la fotosíntesis hacia el animal, actividad fotosinté-

tica que se ha relacionado con las altas tasas de deposición de carbonato de calcio que presentan los corales.

Durante las últimas dos décadas se ha presentado un incremento notable en la frecuencia, intensidad y distribución geográfica del fenómeno conocido como blanqueamiento de coral. Este fenómeno se manifiesta como una ruptura de la simbiosis entre corales y otros invertebrados simbióticos y sus dinoflagelados. La coloración característica de los corales arrecifales se debe a la presencia de zooxantelas, de manera que cuando éstos pierden sus simbioses es posible observar el esqueleto calcáreo a través de los tejidos transparentes del animal. Cuando los invertebrados simbioses con dinoflagelados son expuestos a condiciones ambientales fuera de sus límites de tolerancia (extremos de temperatura, salinidad y radiación solar tanto visible como ultravioleta), la simbiosis se colapsa, reduciéndose notoriamente la densidad poblacional de las algas. La gran mayoría de los eventos de blanqueamiento masivo de coral que se han registrado recientemente se han correlacionado con la presencia de temperaturas superficiales del agua anormalmente elevadas. Dependiendo de la amplitud y duración de la anomalía térmica, el blanqueamiento de coral puede ser un fenómeno reversible con pocas consecuencias ecológicas, o bien derivar en mortalidades masivas, generando un impacto mayor sobre la comunidad. En la actualidad existe un consenso en lo que se refiere al efecto que tiene la temperatura elevada sobre los corales. Experimentos con algas simbióticas en cultivo y con corales intactos indican que después de exposiciones a distintas temperaturas, la fotosíntesis de las algas simbioses se incrementa de manera lineal entre los 20 y los 30°C. A partir de esta temperatura las tasas fotosintéticas disminuyen abruptamente hasta detenerse por completo entre los 34 y 35°C. Este decremento en las tasas fotosintéticas hace que las algas sean más sensibles a otros factores de estrés ambiental, como la limitación por carbono asociada a la falta de movimiento del agua y el exceso de radiación solar.

Dado que la mayoría de los modelos del Cambio Climático Global indican que las temperaturas superficiales de los océanos sufrirán incrementos durante los próximos años, el estudio del fenómeno de

blanqueamiento de coral ha adquirido un especial interés, pues se espera que estos eventos sean cada vez más frecuentes e intensos. Esta tendencia se evidenció durante 1998, año en que se presentó el evento de blanqueamiento de coral más intenso registrado a la fecha. Dicho evento produjo en algunos lugares del Océano Índico mortalidades de coral superiores al 90%. El evento de 1998 ha provocado seria preocupación entre gran parte de la comunidad científica y diversas organizaciones internacionales.

Una de las características más evidentes de los eventos El Niño es el incremento de las temperaturas superficiales del Océano Pacífico este. En esta región nuestro país posee numerosas comunidades coralinas dentro de las cuales destacan las que se localizan en la parte sur del Golfo de California, comunidades que han sido extensivamente estudiadas desde 1990. Basándonos en el conocimiento que se tiene sobre las condiciones de las comunidades coralinas en condiciones previas al evento El Niño 1997-1998, decidimos estudiar, con el apoyo financiero del Conacyt, los efectos causados por este fenómeno, así como documentar su posible recuperación. La temperatura superficial del agua, en la zona de Cabo Pulmo en el estado de Baja California Sur, se mantuvo por arriba del promedio a largo plazo para la zona (50 años) durante el periodo comprendido por El Niño 1997-1998. Esta anomalía mantuvo durante nueve meses consecutivos valores superiores a 1°C. En su punto máximo, durante el verano de 1997, la anomalía térmica alcanzó valores superiores a los 3°C (figura 1). Respondiendo a la presencia de temperaturas del agua muy superiores al promedio, los corales de la zona sur del Golfo de California experimentaron un severo blanqueamiento. Las primeras observaciones incidentales se realizaron en la zona de Cabo Pulmo, en junio de 1997, y a partir de esa fecha se documentó la presencia de blanqueamiento de coral en comunidades localizadas progresivamente más hacia el norte.

Al comparar la información que se tenía en 1996 sobre la cobertura total de corales en las seis comunidades más importantes de la parte sur del Golfo de California, con observaciones realizadas durante 1997, 1998 y 1999, se pudo documentar que aproximadamente

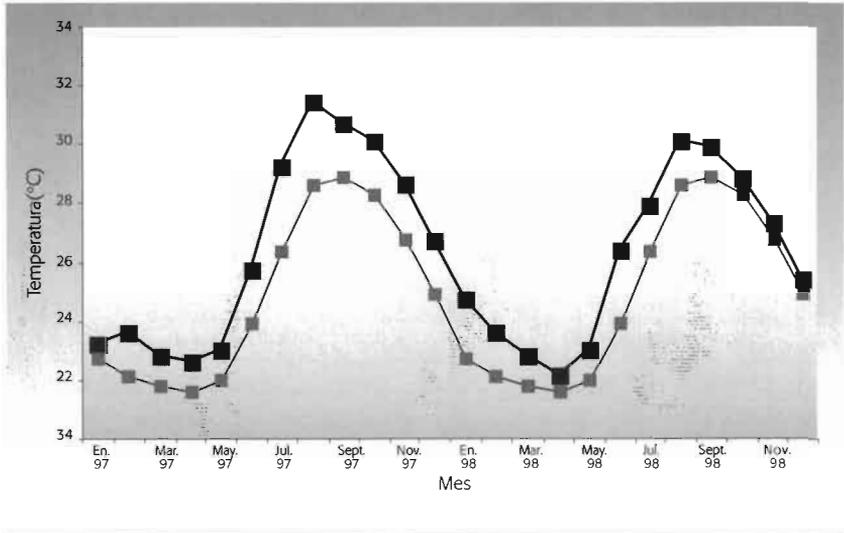


Figura 1. Comportamiento mensual de la temperatura superficial en Cabo Pulmo, B.C.S. (23° N), durante El Niño 1997-1998 (línea gruesa). La línea delgada representa la media de la temperatura durante los últimos 52 años (1947-1999).

el 30% del área cubierta por corales resultó blanqueada durante 1997. El análisis de las coberturas coralinas para 1998 indica que en promedio el 17% del área ocupada por corales en 1996 resultó muerta. Como se mencionó anteriormente, el blanqueamiento de coral puede ser reversible o bien puede dar lugar a la muerte del tejido coralino que lo padece. Dado que los corales son organismos coloniales, la pérdida del tejido blanqueado puede resultar en una mortalidad parcial o total de la colonia.

Nuestro sistema de muestreo no nos permitió evaluar directamente la mortalidad de las colonias que experimentaron blanqueamiento; sin embargo, el análisis de las coberturas coralinas indica que aproximadamente el 60% del área cubierta por coral blanco en 1997 resultó muerta en 1998. Los resultados permitieron también detectar un interesante patrón geográfico, pues se observó una asociación positiva significativa entre la latitud de las comunidades estudiadas y el área cubierta por corales que experimentaron blanqueamiento. Las comunidades localizadas más al sur y que habitualmente experimentan

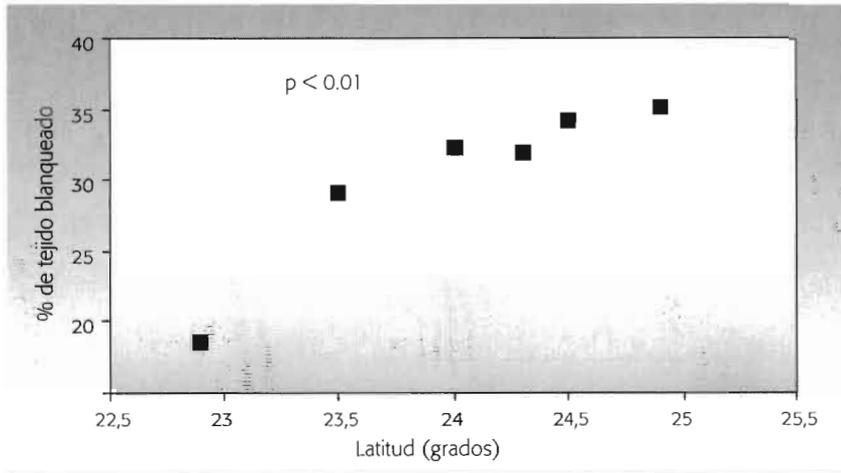


Figura 2. Patrón de distribución geográfica del blanqueamiento de coral en la parte sur del Golfo de California. Los datos son el resultado del análisis de 10 transectos de 50 x 1 m en cada zona de trabajo durante 1996 y 1997.

temperaturas elevadas durante el verano fueron menos sensibles al estrés que aquellas localizadas hacia el norte. Sin embargo, esta tendencia no se detectó cuando se compararon las mortalidades en función de la latitud. Por otro lado, al analizar los patrones de blanqueamiento y mortalidad en función de la profundidad máxima de la comunidad, encontramos que las comunidades someras presentaron mortalidades muy superiores a las de las que incluyen habitat profundos (figura 2). Este patrón de distribución vertical de blanqueamiento y la mortalidad se ha encontrado en la mayoría de los eventos de blanqueamiento masivo.

En el Golfo de California, las zonas someras están dominadas por corales ramificados del género *Pocillopora*, mientras que las profundas son dominadas por corales del género *Pavona*. Los patrones de mortalidad en función de la profundidad pueden ser resultado de variaciones ambientales relacionadas con ésta última (temperatura y disponibilidad de luz), o bien consecuencia de que los simbiontes de ambas especies poseen diferentes sensibilidades al estrés térmico. La disponibilidad de luz presenta un marcado gradiente de profundidad (figura 3), además la temperatura varía hasta en 1.5°C entre las par-

tes someras y profundas del rango de distribución vertical de los corales en la zona de trabajo. Estudios realizados por Natalia Ayala Schiaffino, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, indican que existen hasta 4°C de diferencia entre algas simbiotes de distintas especies de corales en el área del Caribe con respecto a la temperatura que se requiere para inhibir 50% de la actividad fotosintética. Con el fin de analizar el origen del patrón vertical de blanqueamiento y mortalidad observado, estudiamos las respuestas fisiológicas de las algas simbiotes de coral en el área de trabajo.

La inhibición de la fotosíntesis de los simbiotes, dependiente de la temperatura, tiene profundas consecuencias. Por un lado, se suspende el flujo de alimento del alga hacia el animal, y, por el otro, genera un estrés adicional sobre la propia maquinaria fotosintética de las algas. Cuando los organismos fotosintéticos colectan más energía luminosa de la que pueden utilizar para hacer fotosíntesis, como comúnmente sucede al mediodía, el exceso es disipado como calor, mediante una serie de procesos de fotoprotección. En condiciones normales dichos procesos son capaces de eliminar eficientemente el exceso de energía; sin embargo, cuando la fotosíntesis es inhibida por la temperatura, el exceso de energía sobrepasa la capacidad de protección del sistema, generando radicales libres sumamente reactivos que pueden destruir partes del propio aparato fotosintético. Pese a que aún existe controversia sobre el mecanismo celular responsable de la inhibición de la fotosíntesis a altas temperaturas, el estrés por exceso de luz absorbida que se verifica durante la inhibición térmica de la fotosíntesis parece ser responsable del blanqueamiento de coral. Afortunadamente, el estrés por exceso de luz puede ser detectado fácilmente, utilizando técnicas basadas en el análisis de la fluorescencia de la clorofila de las algas.

Si se considera que la energía luminosa disponible para la fotosíntesis disminuye exponencialmente con la profundidad, era de esperarse que la presión por exceso de luz siguiera el mismo patrón. Cuando comparamos la presión que ejerce la radiación solar al medio día sobre colonias de las dos especies dominantes de coral en el Golfo de

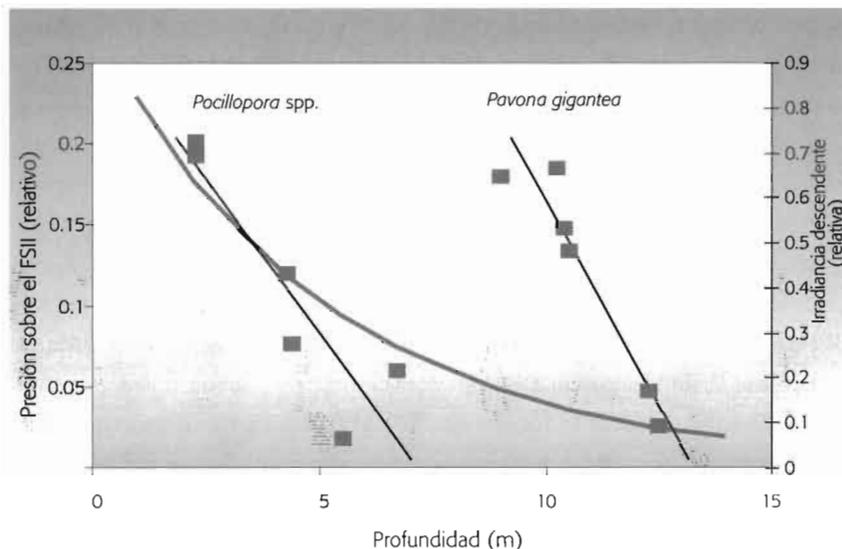


Figura 3. Variación de la presión de la irradiación sobre el fotosistema II (FSII) de *Pocillopora* spp. y *Pavona gigantea*, y de la irradiación descendente relativa en función de la profundidad. Las presiones se obtuvieron in situ con un fluorómetro de pulsos de amplitud modulada durante marzo y julio de 1999. El coeficiente de atenuación vertical utilizado para el cálculo de la irradiación relativa es el promedio de tres determinaciones realizadas en 24°N durante 1999, utilizando el sensor plano del fluorómetro.

California, encontramos que para ambas especies la presión por exceso de luz disminuye con la profundidad, pero de manera diferencial para cada una de ellas. Así, las colonias de *Pocillopora* creciendo a 2.5 m experimentan presiones iguales a las que presentan las colonias de *Pavona* a 10 m de profundidad, con 60% menos energía luminosa que las primeras (figura 3). Estos resultados indican, por un lado, que las algas que habitan ambas especies de coral son distintas, y, por otro, que las diferencias en la iluminación entre los habitat someros y profundos no explican por sí solas el patrón vertical de blanqueamiento de coral. Es necesario estudiar en detalle las diferencias en la distribución vertical de la temperatura, así como las respuestas de cada una de las especies al estrés térmico, para entender el patrón de distribución espacial del blanqueamiento.

Al utilizar estas mismas técnicas, evaluamos las respuestas fotosin-

téticas de los dinoflagelados simbioses de los corales del Golfo de California durante 1998 y 1999. Los resultados indican que en los dos años estudiados los corales no experimentaron estrés térmico durante el verano. Las tasas máximas de fotosíntesis se incrementaron de manera lineal con respecto a la temperatura durante el periodo estudiado. Es importante señalar que el verano de 1999 fue particularmente frío con anomalías térmicas cercanas a los  $-3.5^{\circ}\text{C}$ .

Con el fin de estudiar cómo las perturbaciones ambientales responsables del blanqueamiento de coral afectan a otros componentes de la comunidad, analizamos las respuestas de algunos miembros de la fauna asociada a las colonias de *Pocillopora* spp. Los indicadores descriptivos de la comunidad de macromoluscos no mostraron variaciones durante el evento El Niño. Sin embargo, cuando analizamos las variaciones de la comunidad durante El Niño en función del origen biogeográfico de sus componentes, encontramos que las especies locales no presentaron cambios en su abundancia, mientras que las especies de origen Indo-Pacífico mostraron reducciones significativas. Este patrón probablemente sea el resultado de las historias adaptativas de los dos grupos de especies; las especies locales, que han evolucionado en un ambiente en el que eventos como El Niño son predecibles y más resistentes al estrés térmico, que aquéllas de origen Indo-Pacífico. De manera predecible también detectamos reducciones en las abundancias de las especies que consumen directamente tejido de coral. Otro indicador de la condición de las colonias de coral se obtiene a partir del análisis poblacional de los cangrejos del género *Trapezia*. Estos organismos son comensales obligados de los corales, ya que una parte significativa de su dieta la obtienen del consumo del *mucus* excretado por éstos. Estudios comparativos a partir de censos realizados durante 1996, 1997 y 1998 indican que las poblaciones de cangrejos sufrieron una notoria reducción durante el evento El Niño, recuperándose completamente en 1998.

Los efectos causados por El Niño 1997-1998 en las comunidades coralinas del sur del Golfo de California fueron menores que los que se observaron en sistemas similares en los océanos Índico y Pacífico. Esto probablemente fue el resultado de que las anomalías térmicas re-

gistradas en el Pacífico este fueron de menor intensidad. El estudio de las comunidades sésiles bénticas, como las coralinas, nos permite analizar desde una perspectiva única el efecto de perturbaciones ambientales. Las respuestas de estos organismos a variaciones ambientales es por lo general no lineal. En el caso del blanqueamiento de coral, anomalías en la temperatura del agua de sólo 1.5°C con respecto a la media, son responsables de generar evidentes perturbaciones en la comunidad.

---

### **Lecturas complementarias**

- Glynn, P. W. "Coral Reef Bleaching: Facts, Hypotheses and Implications", *Global Change Biology* 2, 1996, pp. 495-509.
- Hoegh Guldberg, O. "Climate Change, Coral Bleaching and the Future of the World's Coral Reefs", *Mar. Freshwater Res.*, 50, 1999, pp. 839-866.
- Wilkinson, C.; Linden, O.T.; Cesar, H.; Hodgson, G.; Rubens, J., and Strong, A. E. "Ecological and Socioeconomic Impacts of 1998 Coral Mortality in the Indian Ocean: an ENSO Impact and a Warning of Future Change?", *Ambio* 28, 1999, pp. 188-196.

---

## EL NIÑO Y EL MAR

Bertha E. Lavaniegos,<sup>1,2</sup> Reginaldo Durazo,<sup>3,4</sup> Gilberto Gaxiola Castro,<sup>1</sup> Timothy Baumgartner,<sup>1,2</sup> Luis C. Jiménez Pérez,<sup>1</sup> Joaquín García Cordova<sup>1</sup> y María R. González Esparza<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> División de Oceanología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)

Km 107, Carretera Tijuana-Ensenada. Apartado Postal 2732, 22800 Ensenada, B.C., México  
berlav@cicese.mx, ggaxiola@cicese.mx, tbaumgar@cicese.mx, ljimenez@cicese.mx, joaquin@cicese.mx, mgonza@cicese.mx

<sup>2</sup> Marine Life Research Group. Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego La Jolla, California, 92093-0227, USA

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California (UABC)

Km 106 Carretera Tijuana-Ensenada. Apartado Postal 453, 22800 Ensenada, B.C., México  
rdurazo@bahia.ens.uabc.mx

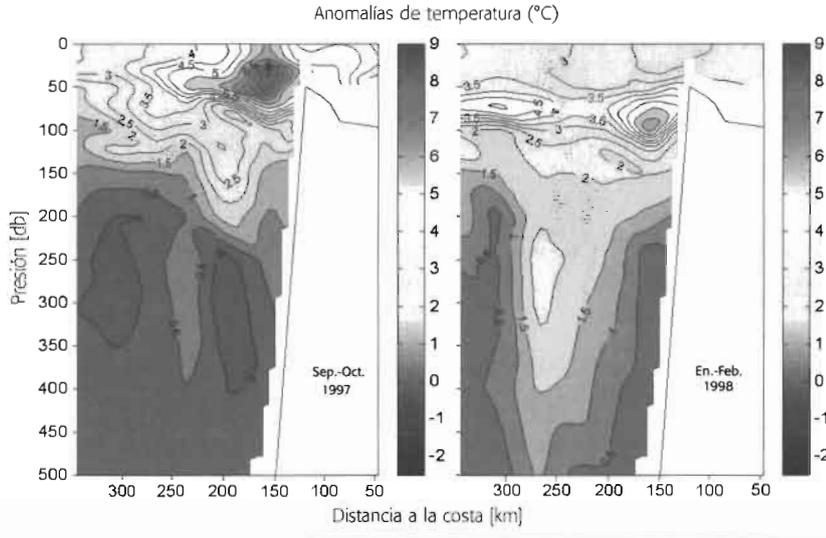
<sup>4</sup> Naval Postgraduate School, Oceanographic Department, Monterey, California, 93940, USA

---

### Introducción

**E**n ciertos años el Océano Pacífico experimenta un calentamiento extremo a través del Ecuador y a lo largo de las corrientes que bordean al continente americano por su costa occidental. Este calentamiento anómalo del Pacífico es producido por el debilitamiento de los vientos alisios; es decir, se trata de un fenómeno en el que la atmósfera y el océano intervienen y por ello se le ha denominado El Niño/Oscilación del Sur, o ENOS, o más familiarmente El Niño. Estamos bien informados sobre los efectos climáticos de alto impacto en poblados costeros y tierra adentro, pues El Niño trastoca los patrones de humedad a escala planetaria. Sin embargo, lo que ocurre con la vida marina nos es poco conocido. Hoy es un hecho más bien anecdótico que el término haya sido acuñado por pescadores, los cuales en la búsqueda cotidiana de su sustento mar adentro hacían una pobre captura en ciertas navidades, a pesar de redoblar el esfuerzo pesquero. En ese entonces el efecto negativo sobre la vida marina era lo más sobresaliente de la presencia de El Niño y no las inundaciones.

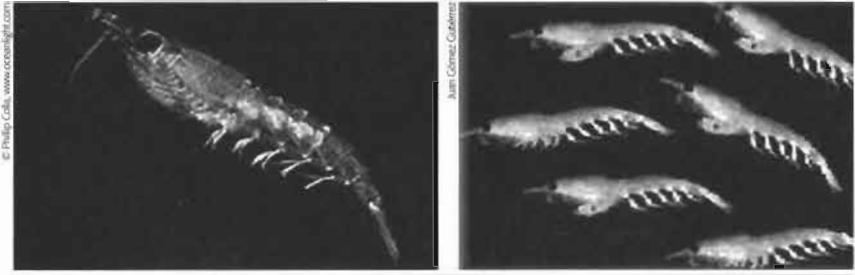
El Niño no sólo quiere decir lluvia y viento; otras anomalías tienen lugar en el océano. En el Pacífico oriental, la superficie marina se eleva debido al fortalecimiento de las contracorrientes costeras que



*Anomalías de temperatura en un transecto perpendicular a la costa de Baja California. Las anomalías se calcularon a partir de promedios tomados de Lynn et al. (1982) para el periodo 1950-1978 (redibujado de Lynn et al., 1998 y Hayward et al., 1999).*

fluyen hacia los polos, la capa superior del agua sufre un calentamiento que puede alcanzar mas allá de los 150 m de profundidad, justo donde se encuentra la mayor cantidad de organismos planctónicos. Como los vientos están relajados, la estratificación del océano es mayor y esto hace que las surgencias, tan características del Pacífico oriental, acarreen agua pobre en nutrientes hacia la superficie, inhibiendo el crecimiento del fitoplancton.

El descenso en la productividad primaria produce una disminución de los organismos microscópicos que forman parte del plancton, y un plancton insuficiente desencadena una reacción a la baja de los organismos macroscópicos que se alimentan de éste, el cual incluye invertebrados, peces, aves y mamíferos. Sin embargo, la disminución de la biomasa planctónica no implica un efecto unidireccional del ENOS; de hecho, varía de manera considerable entre grupos de organismos. En El Niño californiano de 1958-1959, la biomasa de copépodos y eufáusidos declinó relativamente poco si se compara con el año todavía más frío de 1956, mientras que los grandes tunicados fueron



Durante El Niño las especies sureñas pueden desplazar a los habitantes de latitudes más altas. En el evento de 1982-1983, el eufáusido *Thysanessa spinifera* (izquierda) disminuyó considerablemente, mientras *Nyctiphanes simplex*, típico de Baja California (derecha), incursionó frente a las costas de Washington.

muy escasos.<sup>1</sup> Existen evidencias de que las especies de afinidad subártica escasean, como ocurrió con *Thysanessa spinifera* frente a las costas de Washington durante El Niño 1982-1983.<sup>2</sup> Este eufáusido, relativamente grande (25 mm), fue parcialmente reemplazado por *Nyctiphanes simplex*, especie típica de Baja California que mide tan sólo 12 mm. El salmón se vio afectado, pues no logró cubrir sus requerimientos nutricionales con *Nyctiphanes*.

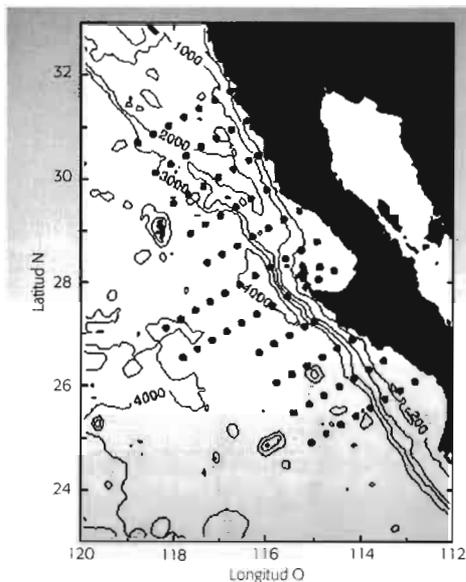
### El Niño 1997-1998 en aguas de Baja California

El reciente ENOS 1997-1998 fue comparable en magnitud y extensión al de 1982-1983. Este fenómeno comenzó a manifestarse en el Pacífico tropical desde la primavera de 1997, alcanzando su máxima intensidad en junio. Se observaron patrones anormales de lluvia, nubosidad y presión atmosférica, así como una interrupción casi total de los vientos en la franja tropical. También se registró un incremento de la actividad ciclónica del Pacífico noreste.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> P.E. Smith. "A Case History of an Anti-El Niño to El Niño Transition on Plankton and Nekton Distribution and Abundances", en *El Niño North. Niño Effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean*, (W.S. Wooster y D.L. Fluharty, eds.), Washington Sea Grant Program, Seattle, 1985, pp. 121-142.

<sup>2</sup> R.D. Brodeur. "Northward Displacement of the Euphausiid *Nyctiphanes Simplex* Hansen to Oregon and Washington Waters Following the El Niño Event of 1982-1983", *J. Crustacean Biol.* (6), 1986, pp. 686-692.

<sup>3</sup> Climate Prediction Center. "Climatic Conditions Associated with the 1997/1998 El Niño: Impacts and Outlook", *Special Summary* (3), 1997.  
[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/special\\_summaries/97\\_3/index.html](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/special_summaries/97_3/index.html)



Batimetría (m) y estaciones oceanográficas del plan Imecocal.

El Niño viaja de oeste a este a través del Ecuador. Hizo su arribo al Pacífico oriental en el verano de 1997 y de ahí se propagó hacia los polos, afectando a la Corriente de California (CC) en el hemisferio norte y a la Corriente de Humboldt en el hemisferio sur. En el sistema de la CC se presentó una expansión de la contracorriente costera, con agua muy cálida y salina hasta los 100 m de profundidad, viajando con rapidez hacia el norte.<sup>4</sup> En el sector de Baja California (BC) se observaron temperaturas anómalas hasta los 150 m de profundidad en el otoño de 1997, así como un fuerte chorro fluyendo hacia el norte de Punta Abreojos (26.5°N) a Punta Eugenia (28°N).

El huracán Nora azotó la región en septiembre de 1997, produciendo chubascos y vientos que afectaron los bancos de abulón de Isla Natividad y los mantos de *Macrocystis* que no lograron recuperarse al año siguiente. Las aves marinas como el *Puffinus griseus* y el *Puffinus opisthomelas* anidaron tardíamente en Isla Natividad,<sup>5</sup> en tanto que la

<sup>4</sup> R.J. Lynn; T. Baumgartner; J. García; C.A. Collins; T.L. Hayward; K.D. Hyrenbach; A.W. Mantyla; T. Murphree; A. Shankle; F.B. Schwing; K.M. Sakuma, and M.J. Tegner. "The State of the California Current, 1997-1998: Transition to El Niño Conditions", *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* (39) 1998, pp. 25-49.

<sup>5</sup> <http://darwin.bio.uci.edu/~sustain/Enso97/0498/AprMex.htm>

langosta (*Panulirus interruptus*) registró una maduración reproductiva precoz,<sup>6</sup> en respuesta seguramente a las altas temperaturas del agua. Estamos a la espera de que se publiquen estadísticas pesqueras para poder evaluar el impacto del reciente ENOS en las pesquerías de pelágicos menores y picudos de Baja California. Sin embargo, por el evento de 1992-1993 se sabe que estas poblaciones resultan sumamente afectadas.<sup>7</sup>

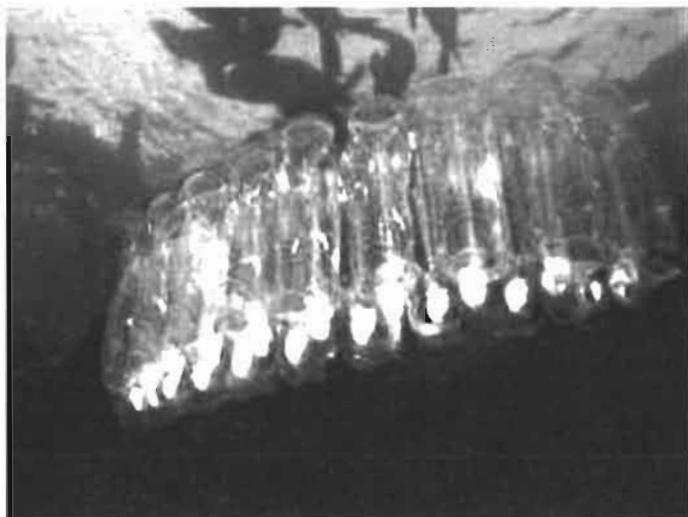
### **El plancton en un océano caliente**

Indudablemente la variabilidad de los recursos pesqueros está estrechamente relacionada con la de las comunidades planctónicas, de donde obtienen su alimento; ésta a su vez está acoplada a la física del océano. Un enfoque sinóptico del ecosistema es necesario para entender la dinámica poblacional de los peces pelágicos y ha llevado a reconsiderar la importancia de monitoreos permanentes en los grandes ecosistemas marinos. En este sentido, se planteó la necesidad de resucitar el plan de monitoreo de la zona mexicana de la CC que antiguamente era cubierta por el Programa estadounidense Calcofi.<sup>8</sup> Con la misma filosofía de establecer una cooperación entre diversas instituciones mexicanas dedicadas a la oceanografía, se creó el Programa de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (Imecocal). Éste arrancó en septiembre de 1997, justo en la fase intensa

<sup>6</sup> A. Vega Velázquez. "Reproductive Pattern of *Panulirus interruptus* as Related to Sea Temperature and Ekman Transport in Central Baja California Peninsula: Effects of the El Niño and La Niña during 1997-1999", *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Fiftieth Anniversary Conference*, 1999, p. 28.

<sup>7</sup> M.G. Hamann; J.S. Palleiro Nayar and O. Sosa Nishizaki. "The Effects of the 1992 El Niño on the Fisheries of Baja California, Mexico". *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* (36), 1995, pp. 127-133.

<sup>8</sup> El Programa Calcofi (California Cooperative Fisheries Investigations) arrancó en 1949, teniendo como objeto la investigación de las causas que provocaron la declinación de la abundancia de sardina en la Corriente de California. Al comienzo se planteó como una aproximación oceanográfica en la investigación pesquera y luego evolucionó hasta convertirse en un programa de investigación del ecosistema. Sobre el desarrollo histórico del Programa Calcofi, véase Hewitt, T.P. "Historical Review of the Oceanographic Approach to Fishery Research", *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* (29), 1988, pp. 27-41.



*Las salpas son potentes filtradores de partículas orgánicas, capaces de incrementar hasta en 40% su tamaño en un día; forman cadenas que llegan a medir 30 m de longitud. Estos tunicados presentaron una tendencia a incrementarse en la región central de Baja California, a la par que los crustáceos disminuyeron conforme progresó El Niño.*

de El Niño. Debido a la lentitud con que el huracán Nora se desplazó a través del Pacífico oriental, fue necesario retrasar el crucero y recortar el número de estaciones visitadas, así que en el primer crucero no fue cubierta el área entre Ensenada y San Quintín. Esta campaña arrojó datos muy interesantes. La temperatura del agua fue muy elevada; frente a Punta Eugenia se registró una temperatura 8°C por arriba del promedio histórico,<sup>9</sup> y también se encontró alta salinidad, lo cual indica una intrusión mayor que la usual de agua del Pacífico ecuatorial. Estas anomalías persistían todavía en enero-febrero de 1998, fecha en que se realizó el segundo crucero Imecocal.

Ya para el verano de 1998 las anomalías de temperatura, aunque positivas, habían descendido a 2°C por arriba del promedio históri-

<sup>9</sup> R.J. Lynn; K.A. Bliss, and L.E. Eber. "Vertical and Horizontal Distributions of Seasonal Mean Temperature, Salinity, Sigma-t, Stability, Dynamic Height, Oxygen and Oxygen Saturation in the California Current, 1950-1978", *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Atlas* (30), 1982, pp. 1-513.

co, y podemos decir que, desde el punto de vista físico, la influencia de El Niño había cesado en el otoño de 1998, dado que se observó una temperatura promedio en esa temporada, e incluso dentro de Bahía Vizcaíno ya se insinuaba La Niña, con anomalías ligeramente negativas.<sup>10</sup>

Desde el punto de vista biológico, hay que contar con una cierta inercia o retraso acumulativo conforme se asciende en la pirámide alimenticia, en función del ciclo de vida de cada tipo de organismo. Si los síntomas físicos se observaron en verano, podríamos esperar que ya en otoño pudieran manifestarse los efectos del evento en el plancton, que es la base sobre la que se sustenta la vida en el océano. Sin embargo, la cantidad de fitoplancton, estimada como concentración de clorofila *a*, no parece haber sido baja, más bien registró una ligera tendencia a incrementarse en la fase de relajamiento del ENOS. No contamos con datos históricos de clorofila para la zona de BC, porque la técnica fluorimétrica que se utiliza para hacer estos análisis fue desarrollada a finales de la década de los sesenta y comenzó a aplicarse rutinariamente en los cruceros Calcofi hasta 1984, justo cuando dejaron de visitar Baja California. Lo único que nos queda aquí es consultar qué pasó en regiones aledañas como el sur de California, donde los niveles de clorofila fueron muy similares a los observados en BC. En opinión de Hayward *et al.*, tampoco fueron bajos sino más bien típicos a los registrados durante la última década en esa región.<sup>10</sup>

Otro hallazgo inesperado, y tal vez como consecuencia del anterior, fue que la biomasa de zooplancton tampoco resultó baja. En este caso sí contamos con datos históricos que demuestran que los volúmenes de zooplancton fueron similares al promedio histórico e incluso ligeramente superiores en el área central de Baja California.<sup>11</sup> Aparentemente, la cantidad de zooplancton fue mayor que en el sur de Ca-

<sup>10</sup> L.T. Hayward; T.R. Baumgartner; D.M. Checkley; R. Durazo; G. Gaxiola Castro; K.D. Hyrenbach; A.W. Mantyla; M.M. Mullin; T. Murphree; F.B. Schwing; P.E. Smith, and M.J. Tegner. "The State of the California Current in 1998-1999: Transition to Cool-water Conditions", *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* (40), 1999, pp. 29-62.

<sup>11</sup> S. Bograd *et al.* "The State of the California Current in 1999-2000", *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* (41), 2000, (en preparación).

lifornia, a pesar de que, como se mencionaba, la cantidad de fitoplancton era similar entre regiones.

---

### **Dinoflagelados contra diatomeas**

Podemos hacer algunas suposiciones sobre los cambios probables en la estructura de la comunidad planctónica cuando ocurre un El Niño. Se sabe por el evento de 1982-1983 que se operan cambios drásticos en los grupos fitoplanctónicos. Por ejemplo, en la Corriente de Humboldt, la disminución en la biomasa del fitoplancton fue atribuida en gran parte a la sustitución de diatomeas por dinoflagelados en las zonas de afloramiento.<sup>12</sup> Se trata de un ecosistema de alta productividad, similar al de la Corriente de California por sus afloramientos costeros, inducidos por vientos paralelos a la costa. Sin embargo, ya mencionábamos que en nuestra zona de estudio no encontramos una disminución franca en biomasa fitoplanctónica durante El Niño 1997-1998.

El análisis taxonómico preliminar sí sugiere algunos cambios. Aparentemente, los dinoflagelados fueron abundantes a lo largo del ciclo de ENOS, mientras que las diatomeas presentaron una drástica disminución. Estas últimas sólo fueron abundantes en el otoño de 1997 y muy localizadas entre Punta Baja (30°N) y Bahía Vizcaíno, y parecen estar asociadas a los valores más altos de clorofila encontrados. Se trata, no obstante, de conclusiones preliminares basadas en análisis taxonómicos de muestras de superficie, pues bien podrían encontrarse presentes diatomeas en muestras de niveles un poco más profundos.

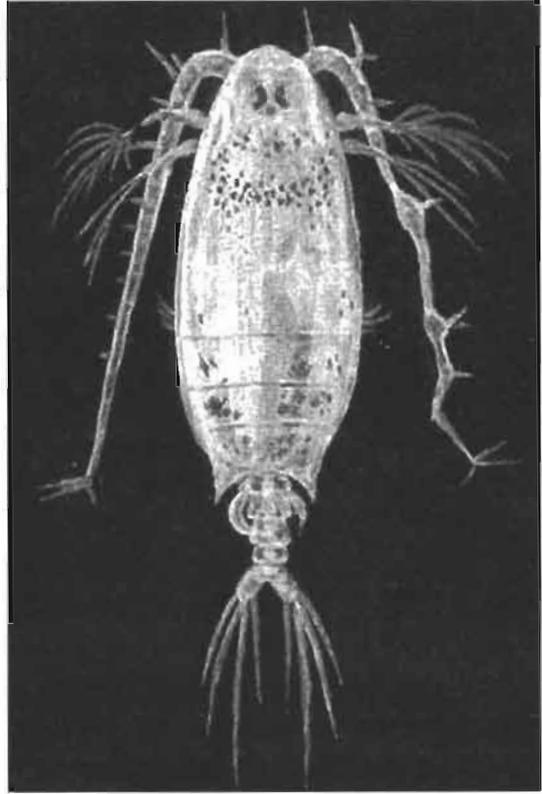
---

### **Plancton gelatinoso contra crustáceos**

Cuando realizamos una inspección microscópica del zooplancton, encontramos que, si bien los copépodos fueron los consumidores más abundantes, presentaron no obstante una tendencia a la baja al final de ENOS (verano-otoño de 1998). En forma inversa, las salpas su-

---

<sup>12</sup> W.E. Arntz, y E. Fahrbach E. *El Niño. Experimento climático de la naturaleza*, México, Fondo de Cultura Económica, 1996.



*Imagen pictórica de Undinula vulgaris (del artista V.A. Sryabin, Academia Nacional de Ciencias de Ucrania). Este copépodo es característico de la fauna litoral del Pacífico oriental tropical. Fue la segunda especie más abundante durante el otoño de 1997. Incurrió más al norte que durante El Niño 1958-1959.*

bieron aunque más localmente en la zona oceánica central y al sur de Punta Eugenia; una alternancia interesante, si se toma en cuenta que ambos grupos son mayormente herbívoros,<sup>13</sup> sin embargo, morfológicamente son muy diferentes. Las salpas, además de ser organismos grandes y gelatinosos, tienen una alimentación más oportunista que los crustáceos; de hecho, son poderosos filtradores, capaces de incrementar hasta en 40% su tamaño en un lapso de 24 h. Los copépodos, en cambio, son más selectivos y poseen cuerpos pequeños rodeados

<sup>13</sup> Las salpas y muchos copépodos se alimentan de partículas orgánicas, que pueden ser células del fitoplancton o despojos de fito y zooplancton. Es obvio que el componente principal de estas partículas es el fitoplancton, y por ello podemos considerar a estos grupos como herbívoros. También existen copépodos estrictamente carnívoros, pero siempre se presentan en menores abundancias que los herbívoros.

de un esqueleto quitinoso que debe ser reemplazado mediante mudas para que pueda crecer.

El incremento de salpas compensa, en términos de biomasa, la disminución de copépodos, y es por ello que no parece ser la biomasa *per se* un buen indicador de ENOS. Sin embargo, es obvio que una mayor oferta de biomasa gelatinosa contra una menor de crustáceos podría tener consecuencias para los peces que prefieren alimentarse de estos últimos, además de que también podría tener repercusiones en la comunidad asociada al fondo marino, ya que el flujo de materia orgánica se incrementa.

---

### **Especies tropicales contra especies templadas**

El nivel de especie es un rasero más fino para evaluar los efectos de ENOS que los del grupo, sin embargo, esto requiere del concurso de expertos de cada grupo y muchos meses de observación al microscopio. Los análisis realizados con copépodos durante el pico del evento arrojaron cifras impresionantes sobre la presencia de organismos tropicales, tanto en número de especies como en abundancia por especie. Algunas como *Nannocalanus minor* y *Eucalanus subtenuis* llegaron a dominar a tal grado que 19% de los copépodos totales capturados en el otoño del 1997 eran *N. minor* y 39% de los capturados en el invierno de 1998 eran *E. subtenuis*. La primera tiene una distribución amplia en mares tropicales (entre 40°N y 40°S), mientras que la segunda es propia del Pacífico ecuatorial. En contraste, las especies propias de la Corriente de California *Calanus pacificus* y *Rhincalanus nasutus* no alcanzaron el 10% juntas en ninguno de los dos periodos.

Las especies mencionadas son herbívoras y la diferencia más obvia entre ellas es el tamaño, ya que *N. minor* y *E. subtenuis* son en promedio 1-2 mm más pequeñas que *C. pacificus* y *R. nasutus*. Esto podría afectar a los peces e invertebrados que se alimentan de calanoides, puesto que requerirían un mayor número de copépodos para cubrir su cuota alimenticia. Posteriores análisis de la composición específica durante la fase del relajamiento de ENOS permitirán extraer conclusiones sobre el retorno de la comunidad a su estructura típica.

---

**Agradecimientos**

Expresamos nuestro reconocimiento a técnicos, estudiantes y a la tripulación del barco oceanográfico Francisco de Ulloa por su enorme esfuerzo para arrancar información al mar. El apoyo financiero provino de los proyectos 017PÑ-1297, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y G0041-T9607, del Interamerican Institute for Global Change, así como de proyectos internos del CICESE y de la Universidad Autónoma de Baja California.

---

# **EL EVENTO EL NIÑO 1997-1998 Y SU IMPACTO SOBRE EL ZOOPLANCTON EN BAHÍA MAGDALENA, B.C.S.**

Ricardo Palomares García, Roxana de Silva Dávila, Aída Martínez López, Alejandro Hinojosa Medina, Raymundo Avendaño Ibarra y René Funes Rodríguez

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (Cicimar-IPN)

---

## **El zooplancton y la variabilidad ambiental**

**L**a gran mayoría de las especies animales que habitan el océano viven al menos durante una parte de su vida como miembros del plancton. Este vocablo proviene de la palabra griega “plancktos”, que significa derivar. Es un nombre por demás adecuado, ya que la mayoría de los integrantes del plancton son microscópicos y se encuentran a merced de las corrientes del mar (a excepción de las medusas y algunas colonias de sifonóforos o aguas malas). La parte animal del plancton se denomina zooplancton e incluye estadios larvarios de peces, cangrejos, langostas, camarones, almejas, balanos, calamares, etc. Sin embargo, no todo el zooplancton está constituido por estadios larvarios; de hecho, la mayoría lo constituyen organismos que pasan toda su vida en el plancton y no son conocidos por el común de la gente. Estos animales se conocen como holoplancton, en tanto que los que sólo pasan una parte de su vida en él (como las formas larvales) se denominan meroplancton. En su conjunto, el zooplancton constituye uno de los componentes más importantes en la cadena alimenticia del océano y la principal fuente de alimento para una gran variedad de peces, aves y mamíferos marinos.

El estudio del zooplancton y la variación de sus componentes,

dada su importancia ecológica y su rápida capacidad de respuesta a los cambios ambientales, puede indicar el estado que guarda el ecosistema en su conjunto. La biomasa zooplanctónica (o biovolumen) que se encuentra en un área es un indicador grueso de la productividad, y su variabilidad se relaciona con diversos factores, como modificaciones en el ambiente, influencia de corrientes, o cambios en las proporciones de los grupos que la integran.

En el sistema de la Corriente de California (CC) la variabilidad del biovolumen se ha atribuido a diferentes factores en escalas distintas, como pueden ser: la latitud, la estacionalidad y el transporte hacia el sur de la CC, el cambio climático global, las modificaciones en la intensidad de las surgencias y, en una escala interanual, la influencia de los eventos El Niño, como uno de los mayores generadores de cambios en el zooplancton.

Hacia el extremo sur de la CC, donde se ubica Bahía Magdalena, algunos factores pierden importancia y otros cobran mayor fuerza. En el interior de la bahía, los cambios más significativos en el volumen de la biomasa zooplanctónica no ligados con la variación estacional han sido relacionados con una disminución de la biomasa fitoplanctónica, producto de un decremento en la disponibilidad de nutrientes y de la invasión de aguas tropicales, a consecuencia de uno de los eventos de calentamiento más intensos de este siglo, denominado El Niño 1982-1983.

El volumen de la biomasa zooplanctónica puede variar en función de la respuesta a los cambios ambientales de los diferentes organismos que la conforman, por lo tanto, se puede estudiar uno de sus componentes principales para diagnosticar el posible efecto de este fenómeno sobre el resto de la comunidad zooplanctónica. Dado que los copépodos representan entre un 60% y un 90% de la biomasa total, el grupo de Ecología del plancton, del Departamento de Plancton y Ecología Marina del Cicimar-IPN, propuso el análisis de la variabilidad mensual de algunas especies clave de copépodos (del griego *Kope* = remo y *podos* = pie) y de larvas de sardina, para diagnosticar el efecto de el fenómeno El Niño 1997-1998 en Bahía Magdalena.

### **El Niño 1997-1998 y su impacto en Bahía Magdalena**

El evento El Niño 1997-1998 causó cambios físicos y biológicos en el Pacífico ecuatorial, comparables a los registrados en 1982-1983. En el Ecuador este evento produjo modificaciones en el patrón normal de lluvia, nubosidad y presión atmosférica, así como una interrupción casi total de los vientos en la franja tropical. Sus primeros efectos se manifestaron en el Pacífico tropical en marzo de 1997, alcanzando su máxima intensidad en junio para terminar en septiembre de 1998. Para estas fechas la expansión de la contracorriente costera llevó, hasta la latitud en que se ubica Bahía Magdalena, agua inusualmente cálida y salina en profundidades de hasta 100 m. Esta agua cálida y pobre en nutrientes limitó el crecimiento de los productores primarios y por tanto del zooplancton que se alimenta de éstos. Tal disminución en la productividad primaria y secundaria provocó la declinación de pesquerías como la del calamar, el erizo y el abulón, mientras que la presencia de algunas especies de peces típicos de aguas cálidas como el jurel, la barracuda y el dorado se incrementó. No obstante, en el medio marino las respuestas biológicas a los cambios ambientales difieren de una región a otra, dependiendo del origen y la capacidad de respuesta de los organismos que en ella habitan. Los efectos adversos de este fenómeno de calentamiento son más intensos en la zona oceánica que en la nerítica, ya que en esta última pueden existir procesos locales de mezcla que mantienen concentraciones de nutrientes en cantidades adecuadas para el crecimiento del fitoplancton y el zooplancton.

En este sentido, uno de los cambios físicos más evidentes registrados en 1997-1998 fue el rápido incremento de la temperatura superficial del mar (TSM) de mayo a agosto en Bahía Magdalena, alcanzando hasta 31°C, con una anomalía térmica (valor superior al promedio estacional) de + 4.4 en agosto (figura 1).

Lo anterior contrasta con el lento desarrollo del calentamiento ocurrido en 1982-1984 que registró +3.6°C de anomalía, durante la señal más fuerte del calentamiento, pero cuya duración alcanzó los 22 meses.

Debido a su amplia comunicación con el océano adyacente, en Ba-

hía Magdalena se conjugan las comunidades propias de aguas oceánicas y neríticas con las especies autóctonas (propias de esta bahía). Esta característica nos permite hacer inferencias acerca del impacto de los efectos de este periodo de calentamiento anómalo sobre especies de origen distinto que confluyen en esta área. Analizando la serie de datos generados por el grupo de Ecología del plancton durante 1997-1998, los principales cambios observados en la comunidad de los copépodos se registraron en las especies oceánicas y neríticas que penetran a la bahía vía el intercambio de marea, con un incremento de especies de afinidad tropical y ecuatorial y la disminución de especies templadas, al igual a lo acontecido en 1983-1984. Por otra parte, la respuesta de las especies locales al calentamiento se reflejó en el mantenimiento de su patrón de sucesión normal, donde la especie *Paracalanus parvus* fue la más abundante durante el periodo frío (enero a mayo), mientras que las especies pertenecientes al género *Acartia* (A.

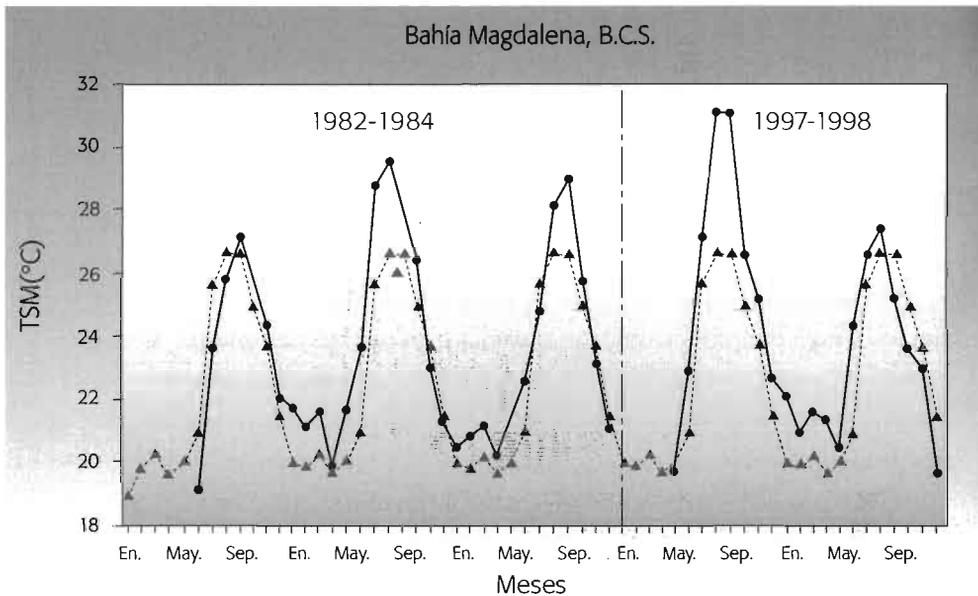


Figura 1. Variación de la temperatura superficial.

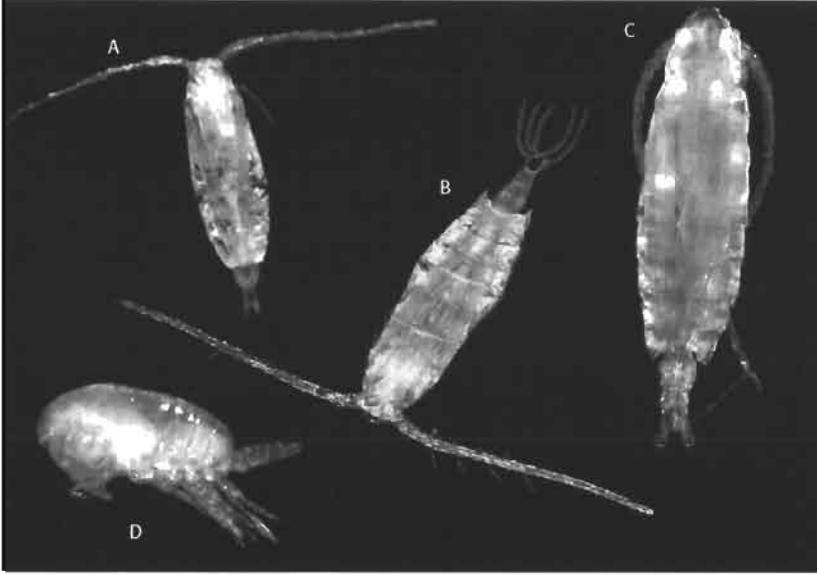


Figura 2. A) *Acartia clausi*. B) *Acartia lilljeborgii*. C) *Calanus pacificus* y D) *Paracalanus parvus*.

*clausi* y *A. lilljeborgii*) lo fueron en el periodo cálido (junio a diciembre) (figura 2).

El contraste en las respuestas biológicas ante los cambios en el ambiente se explica por el origen de las diferentes poblaciones. En el caso de las especies oceánicas y neríticas, la llegada de aguas tropicales, asociadas con el evento El Niño 1997-1998, permitió que éstas ampliaran su distribución a latitudes donde normalmente no llegan, desplazando hacia el norte el límite sureño de distribución de las especies templadas. En cambio las especies locales están adaptadas a soportar fuertes variaciones estacionales y por tanto pueden prosperar en condiciones de estrés ambiental y aún aprovecharlo, como en el caso de las *acartias*. Debido a la ampliación temporal del periodo cálido y al desarrollo máximo del fenómeno durante 1997, *A. clausi* y *A. lilljeborgii* triplicaron su abundancia en relación con la de 1998, aunque sin alcanzar los niveles registrados durante 1983-1984.

Dentro del meroplancton también se registraron cambios importantes, como en el caso de las sardinas, que aportan el mayor volu-

men de la captura comercial en la bahía. En un año normal las sardinas tropicales se reproducen durante el verano, por lo que sus huevos y larvas alcanzan su máxima abundancia durante los meses de junio a agosto. En contraste, las sardinas Monterey (*Sardinops caeruleus*) y la macarela (*Scomber japonicus*) de afinidad templada se reproducen en invierno. Durante El Niño 1997-1998, al igual que en el evento de 1982-1983, tanto la presencia de huevos y larvas como las capturas comerciales de los adultos de las especies templadas sufrieron una baja considerable, mientras que los huevos y las larvas de las sardinas tropicales (*Opisthonema* spp. y *Anchoa* spp.) alcanzaron su máximo histórico durante 1997, con un incremento considerable en la captura de los adultos (figura 3). La disminución de las sardinas de afinidad templada se asocia con el incremento de la temperatura producto del avance de las aguas tropicales, que obliga a los cardúmenes a trasladarse hacia el norte y por tanto a modificar sus áreas de desove, hecho que se corrobora con el incremento de las capturas de adultos en las pesquerías de Ensenada y California. El incremento de la temperatura, en cambio, favorece el éxito reproductivo de las sardinas tropicales, hecho que se manifiesta como abundancias record de huevos y larvas.

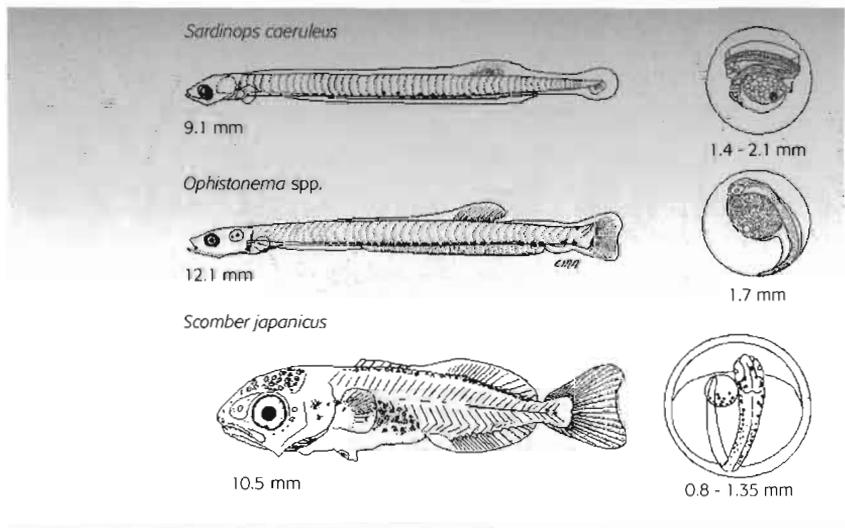


Figura 3. Huevos y larvas de sardinas.

---

## **Conclusiones**

Las respuestas biológicas a los cambios físicos relacionados con El Niño 1997-1998 en Bahía Magdalena fueron distintas a las observadas durante 1983-1984. Ambos eventos de calentamiento mostraron diferencias en la rapidez con que alcanzaron el máximo desarrollo, en su magnitud y en la duración del evento.

Durante 1997-1998, la temperatura superficial del mar alcanzó los 31°C. No obstante la magnitud de este evento, el patrón de sucesión de las especies clave de copépodos no varió, evidenciando una alta estabilidad de las poblaciones dominantes, debido a su adaptabilidad a los cambios estacionales e interanuales, como el evento El Niño. Sin embargo, si comparamos la abundancia y la composición de la comunidad durante 1997-1998 y 1983-1984, se aprecian cambios que denotan una respuesta biológica diferente ante características propias de cada calentamiento.

La magnitud del desove de los pelágicos menores de afinidad tropical se vio más favorecida por la llegada de aguas de origen tropical, como resultado del evento El Niño 1997-1998, en comparación con lo ocurrido en 1983-1984.

---

## LA REPRODUCCIÓN DEL BOBO PATAS AZULES COMO INDICADOR DE LA ABUNDANCIA DE PECES

Juan Meraz<sup>1</sup> y Hugh Drummond<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Apartado Postal 70-275, 04510 México, D.F.

Instituto de Recursos, Universidad del Mar

Apartado Postal 47, 70902 Puerto Ángel, Oaxaca, México

sula@angel.umar.mx

<sup>2</sup> Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Apartado Postal 70-275, 04510 México, D.F.

hugh@servidor.unam.mx

**S**i desea saber cuánto alimento está disponible para un grupo de animales, ¿cómo haría usted para medir la cantidad de peces en el mar? Aun restringiendo la pregunta a una sola especie en una sola región del mar, es evidente que el reto es grande. De hecho, tan grande es que por lo general los biólogos que estudian la ecología de las aves marinas efectivamente se rinden y simplemente hacen inferencias basadas en observaciones indirectas o dudosas. En principio sabemos medir la abundancia o, más bien, los cambios de abundancia de una población de peces, tomando muestras sistemáticas o aleatorias a través de la región de interés y empleando técnicas variadas de captura. Sin embargo, el costo de esta aproximación resulta ser alto; más práctico sería buscar un indicador accesible que nos dé una estimación indirecta de la abundancia de peces.

Dada la interdependencia de los seres vivos, en algunas circunstancias debería ser posible obtener información sobre la especie X, por medio de estudios de la especie Y. Por ejemplo, puede existir una alta correlación entre la abundancia de los linces y las liebres (aunque la causa de la relación no sea tan clara) y suponer que existen correlaciones entre la abundancia de especies de depredadores y sus especies de presa. Por lo tanto, posiblemente podríamos conocer la abun-

dancia de los peces marinos de importancia comercial, estudiando los animales que los depredan, las aves marinas en este caso.

Los indicadores biológicos han mostrado cierta efectividad, principalmente de manera intuitiva, en el área de la contaminación. Es común considerar la abundancia de ciertos animales para determinar el grado de degradación de un medio, como el que los gusanos de fango busquen las partes turbias de los ríos por efecto de la descarga de aguas negras. Por otra parte, se considera que un ambiente acuático con aguas transparentes y movimiento constante favorece el florecimiento de diatomeas, mientras que el de aguas menos claras y sin movimiento favorece el de dinoflagelados. Sin embargo, en el empleo de los indicadores biológicos o bioindicadores debemos ser cautelosos. La complejidad de las relaciones ecológicas entre especies es tal que las interacciones de más de tres especies resultan casi imposibles de modelar matemáticamente. Además, por lo general es incompleto nuestro conocimiento de cuáles especies en un ecosistema dado son afectadas por otras. No obstante, podemos proceder por la aproximación empírica de buscar correlaciones entre la abundancia de la especie blanco y aspectos poblacionales de la especie candidata a ser bioindicador. Además, podemos buscar correlaciones entre variables desfasadas en tiempo, para intentar predecir cambios futuros en la abundancia de X, basándonos en medidas actuales de la especie Y. Esta aproximación es la que estamos intentando poner en práctica para conocer las poblaciones de anchovetas y sardinas, por medio de estudios de la reproducción del pájaro bobo de patas azules (*Sula nebouxii*).

El Niño es un fenómeno climático de marcada variación, entre años, en la temperatura de la superficie del mar, con cierta variación en los factores bióticos y abióticos que resultan afectados. Involucra cambios drásticos en la abundancia de peces y probablemente también en la abundancia y reproducción de los animales que los depredan. Además, en el caso de una especie piscívora, como el bobo de patas azules, cuya época reproductiva dura más de seis meses, es de esperarse que tenga la capacidad no sólo de medir o reflejar la abundancia actual de peces, sino de predecir cambios en dicha abundancia con varias semanas de anticipación, para poder ajustar su esfuer-

zo reproductivo a las condiciones que tendrá que afrontar. Para descubrir este tipo de asociaciones, es necesario buscar correlaciones en los datos que abarcan varios años de medición tanto de las aves como de los peces. Raras veces están disponibles datos sistemáticos a largo plazo de las poblaciones de animales en México, pero para el bobo de patas azules de Isla Isabel, Nayarit, tenemos registros estandarizados de diversos aspectos poblacionales que abarcan hasta veinte años. Durante millones de años, ésta y otras especies de bobos se han especializado en la pesca marina y su éxito ha dependido de su capacidad de ajustar su reproducción a los cambios en las poblaciones de peces. Por lo tanto, es plausible que el bobo de patas azules nos supere por mucho cuando se trata de estimar cuántas sardinas hay y habrá.

El bobo de patas azules se distribuye en islas oceánicas del Pacífico oriental, donde anida en el suelo, generalmente en colonias de varios cientos o miles de parejas. Cada año (incluyendo años severos de El Niño, como 1983 y 1992) los bobos de Isla Isabel ponen de uno a tres huevos entre diciembre y junio, y cuidan a sus crías entre febrero y finales de julio. Ambos padres cuidan la puesta y la nidada, alimentando a las crías con peces regurgitados que atrapan dentro de un radio estimado de 10-20 kilómetros alrededor de la isla. Este bobo es un depredador especialista, por lo que no come crustáceos o moluscos, no recoge alimento de la playa o de la superficie del mar, tampoco roba peces a otras aves, ni se alimenta de desperdicios de barcos pesqueros. Su oficio único es clavarse en el mar y atrapar peces vivos con el pico, zambulléndose a varios metros de profundidad. El hecho de que el bobo de patas azules se alimente exclusivamente mediante pesca directa lo hace especialmente susceptible, a diferencia de otras aves marinas, a fluctuaciones en la abundancia de peces. Por otra parte, esta abundancia debería disminuir cuando El Niño provoca un alza en la temperatura del mar. La temperatura superficial marítima es un buen indicador de la productividad marina en todos los niveles tróficos y, en nuestra área de estudio, se correlaciona negativamente con los volúmenes de captura de sardinas (*Opisthonema* spp.).

Para describir la variación interanual en la reproducción del bobo de patas azules, el Laboratorio de Conducta Animal, del Instituto de

Ecología, llevó a cabo un programa de registros sistemáticos de la población en Isla Isabel, siguiendo la misma metodología durante 13 años. Cada año, desde 1986 hasta 1998, en dos zonas de estudio permanentes en este lugar se registraron todos los nidos (entre 500 y 1 300 cada año) desde alrededor del 15 de febrero hasta el 15 de julio (a partir de la puesta hasta que emplumaron las últimas crías). Cada tres o seis días se registró el contenido por nido (marcado con una estaca). En el caso de los huevos o crías que estaban presentes al inicio de los registros de la época reproductiva, las fechas de puesta y eclosión fueron estimadas con base en sus fechas de eclosión o su tamaño, respectivamente. Se consideraba que una cría había sobrevivido hasta el emplumado, cuando alcanzaba la edad de 70 días. Las zonas de estudio incluyen áreas de alta y baja densidad de nidos y abarcan aproximadamente el 80% de la colonia reproductiva de bobos. Los registros se capturaron en una base de datos (en el programa Access) de 43 campos.

Para conocer la variación interanual en la abundancia de sardinas en la región de Isla Isabel, fue necesario recurrir a los registros de captura en las bitácoras de los barcos sardinero-anchoveteros. Estos datos, concentrados y proporcionados por el Centro Regional de Investigación Pesquera de Mazatlán, se estandarizaron a fin de obtener la captura promedio que conseguiría cada embarcación, en el supuesto de que todas realizaran el mismo esfuerzo de captura con el mismo éxito por lance de pesca. A este dato se le conoce como captura por unidad de esfuerzo. Como era de esperarse, se encontró que había una variación anual marcada, con capturas diferentes para los 12 meses del año. Es importante anotar que la pesca de sardinas, dada la biología de estos peces, es multiespecífica pero involucra especies cercanamente emparentadas. Ello evita considerar la existencia, en cada colecta, de especies varias que podrían no ser importantes.

Los datos registrados muestran con cierta claridad, para un periodo de 12 años, que las mayores capturas de sardinas se dan en el mes de julio. Esto quiere decir que, dentro de la variación intranual, existe una época de marcado repunte en los registros de sardinas; este pico de abundancia puede ser aprovechado por los bobos para reproducirse,

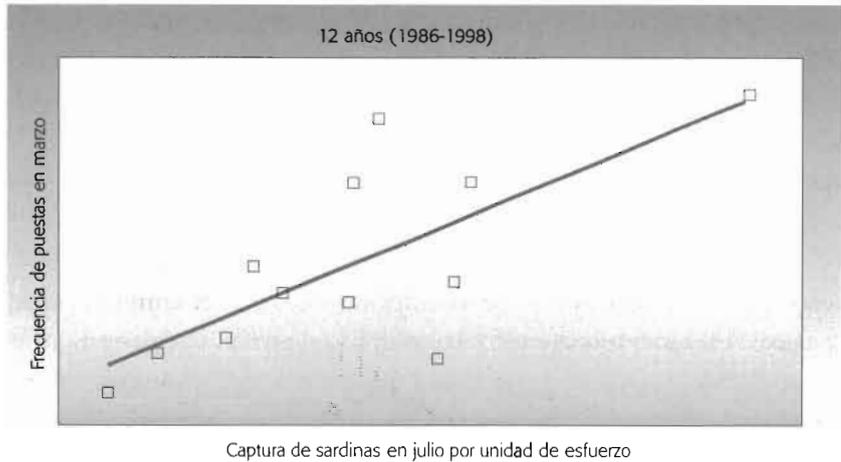


Figura 1. Relación entre frecuencia de puestas nuevas en marzo y captura de sardinas por unidad de esfuerzo en julio.

dado que la alta disponibilidad de peces podría favorecer a las crías en la fase crítica de la transición a la independencia, cuando tienen que aprender a alimentarse solas.

En nuestros datos hay indicaciones preliminares de que la abundancia de peces (u otro factor) conduce a grandes cambios de un año a otro en la reproducción de la población de bobos en Isla Isabel. En un análisis preliminar se detectaron numerosos cambios interanuales entre 1981 y 1993, por ejemplo, en el tamaño de puesta, el éxito reproductivo, el crecimiento de las crías y los niveles hormonales (relacionados con el estrés) de los adultos reproductores. Además, el análisis indica que El Niño perjudica la reproducción de los bobos, pues la temperatura del mar se correlaciona negativamente con la proporción de puestas de tres huevos, con el éxito del emplumado en nidadas de dos crías y, posiblemente, con la probabilidad de fratricidio por parte de las crías.

Estamos apenas iniciando el proceso de análisis, pero hemos obtenido resultados alentadores usando la variable “número de puestas nuevas por mes”. Suponemos que esta medida probablemente refle-

ja la predicción de los bobos sobre la abundancia de peces varias semanas más tarde, durante el periodo de alimentación de sus crías. Como puede apreciarse en la figura 1, existe una relación significativa entre el número de puestas nuevas en marzo y la captura por unidad de esfuerzo en julio.

Estos resultados no son aún concluyentes pero representan un importante paso en la búsqueda de variables, fácilmente medibles en aves marinas, que sirvan de indicadores de la futura abundancia de peces. De comprobarse esto, estaríamos en posibilidades de montar programas de monitoreo de aves a fin de predecir la pesca en el futuro mediato, lo cual representaría una importante herramienta en la planeación de las campañas pesqueras.

---

### **Agradecimientos**

Expresamos nuestro reconocimiento a todos los estudiantes y tesisistas que han participado en el trabajo de campo a lo largo de muchos años; a Cristina Rodríguez por su ayuda técnica de toda clase; a la Armada de México por el sólido apoyo logístico; a la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (y a sus antecesoras) por las facilidades, permisos y apoyos otorgados, así como al CRIP-Mazatlán por los datos proporcionados. Este trabajo fue financiado por la UNAM (DGAPA-IN211491), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (D112-903581, PCCNCNA-031528, 071PN-1297), la National Geographic Society (apoyos 3065-85 y 4535-91) y la Conservation and Research Foundation.

---

### **Bibliografía**

- Barber, R., and Chávez, F. "Biological Consequences of El Niño", *Science* 222, 1983, pp. 1203-1210.
- Ricklefs, R.; D. Duffy, y M. Coulter. "Weight Gain of Blue-footed Booby Chicks: An Indicator of Marine Resources", *Ornis Scandinavica* 15, 1984, pp. 162-166.
- Ruiz, A., y Lyle, L. "Fluctuaciones periódicas de la captura de sardina crinuda (*Opisthonema* spp.) en el Golfo de California", *Calcofi* 33, Cooperative Ocean Fisheries Investigations (Calcofi),

University of California Scripps, San Diego, 1972-1990, 1992,  
pp. 124-129.

Schreiber, R.W., and E.A. Schreiber. "Central Pacific Seabirds and  
El Niño Southern Oscillation: 1982-1983 Perspectives", *Science*  
225, 1984, pp. 713-715.

---

# EFFECTOS DE EL NIÑO (1997-1998) Y LA NIÑA (1998-1999) EN LAS BALLENAS GRISES DE LAGUNA SAN IGNACIO, B.C.S.

Jorge Urbán R., y Alejandro Gómez Gallardo U.

Departamento de Biología Marina  
Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS)

---

## Introducción

La ballena gris *Eschrichtius robustus* es la única especie de su familia y una de las 11 especies del grupo de los cetáceos que poseen barbas en lugar de dientes para alimentarse (misticetos). Los registros fósiles indican que hasta el siglo XVIII habitó en el Atlántico norte, pero en la actualidad sólo se presenta en la porción norte del Pacífico, dividida en dos poblaciones, la coreana (casi extinta) y la americana (Rice y Wolman, 1971).

Es uno de los cetáceos mejor conocidos en el mundo debido a que vive en aguas no muy profundas y por lo mismo cercanas a la costa. De todos es bien sabido que cada invierno realizan una de las migraciones más largas que ocurren entre los mamíferos, ya que se desplazan más de nueve mil km desde sus zonas de alimentación, en las aguas circumpolares de los mares de Chukchi y Beaufort, hasta algunas lagunas de la costa occidental de la península de Baja California, donde realizan sus actividades reproductivas, como aparearse y parir, y de crianza (figura 1).

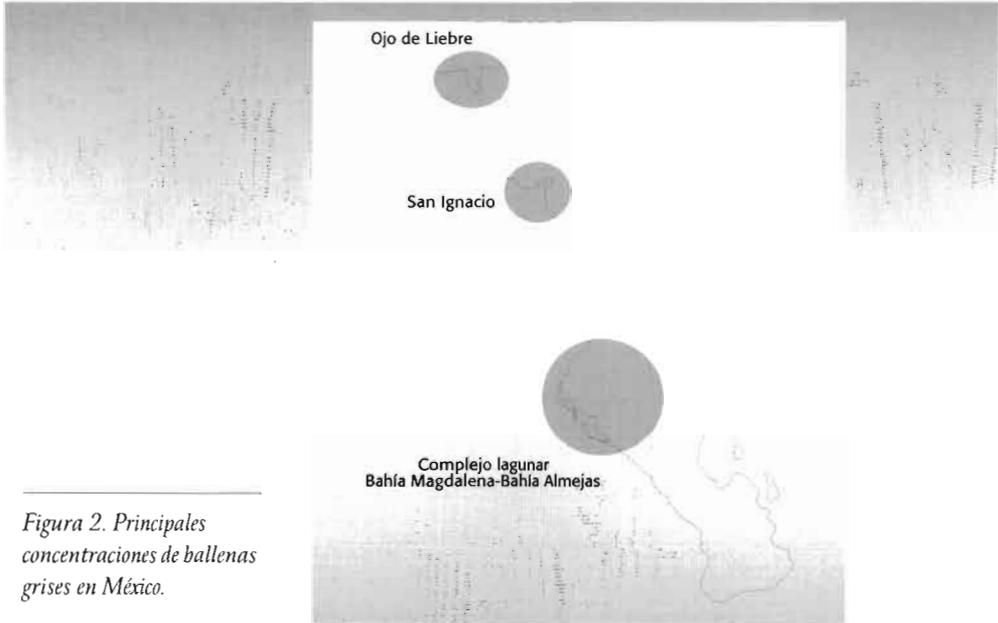
Hasta mediados del siglo XX, las ballenas grises sufrieron una intensa cacería por los balleneros, que veían en ellas una presa accesible, lo que provocó que la población del Pacífico norte se redujera de



Figura 1. Ruta migratoria y zonas de distribución de la población nororiental de la ballena gris.

manera dramática, hasta el grado de que en la actualidad la población coreana haya pasado de varios miles a menos de 100 animales. Hubo un tiempo en que la población americana se redujo de más de 20 mil a sólo unos pocos miles de ejemplares.

En México las principales concentraciones de ballenas grises se encuentran a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California, en las lagunas costeras Ojo de Liebre, San Ignacio y el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas (figura 2). Se piensa que las características ecológicas de estas áreas ofrecen ventajas para que dichas ballenas lleven a cabo sus actividades de reproducción y crianza. Sin embargo, también se han observado en el Golfo de California tan al norte como Puerto Peñasco, Sonora.



*Figura 2. Principales concentraciones de ballenas grises en México.*

La laguna Ojo de Liebre, en Guerrero Negro, y más recientemente la de San Ignacio, han sido objeto a partir de 1972 de diferentes decretos y categorías de áreas protegidas, desde santuarios hasta reservas de la biosfera. Esto, sin duda, ha contribuido a la recuperación numérica de la especie, por lo que actualmente su población se estima en más de 20 mil individuos, número similar al que presentaba antes de su explotación comercial.

### **Laguna San Ignacio**

En la actualidad, de las cuatro lagunas de crianza y apareamiento de la ballena gris en el Pacífico oriental, la de San Ignacio es la única que se mantiene prácticamente inalterada. Ésta, al igual que la de Ojo de Liebre, se encuentran dentro de la reserva de la biosfera El Vizcaíno, situadas en el lado occidental de la península de Baja California (figura 3). El interior de laguna San Ignacio tiene un sistema de canales separados por bajos, muchos de los cuales afloran durante las mareas ba-

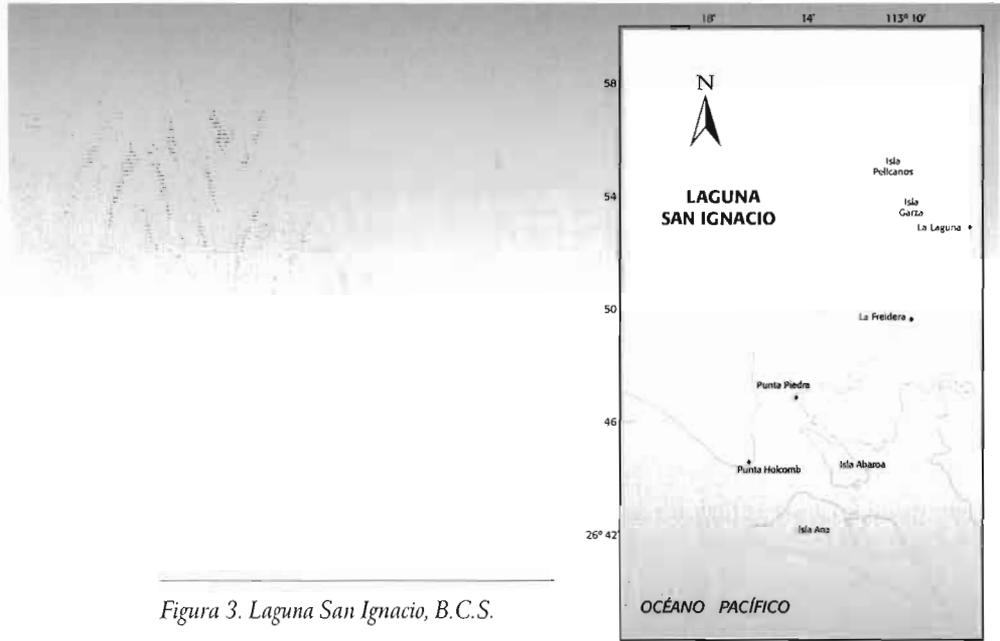


Figura 3. Laguna San Ignacio, B.C.S.

jas. La mayor parte de ella es de baja profundidad por lo que las ballenas se ven restringidas a las zonas centrales. A pesar de que su superficie es de 152 km<sup>2</sup>, sólo cerca de 87 km<sup>2</sup> (57%) son lo suficientemente profundos (mayores a dos m) para estos cetáceos. Durante la temporada invernal dominan los vientos del norte y suroeste y no es extraño que la velocidad del viento cambie de 0 a 35 km/h en menos de 30 min. Laguna San Ignacio provee el habitat para un número relevante de plantas y animales terrestres y marinos, y las aguas bajas y los manglares de esta zona son un habitat importante para las aves playeras.

Desde la década de 1970, Laguna San Ignacio ha tenido un incremento constante en la cifra de visitantes, cuyo interés es observar la ballena gris, lo que ha provocado un aumento en el número de prestadores de este servicio. En la actualidad, se ha convertido en uno de los destinos más importantes del mundo para la observación turística de ballenas, razón por la que cada invierno acuden miles de turistas para observar a los cetáceos que ocupan sus aguas durante más de tres meses.

## **El estudio**

Nuestro trabajo de investigación comprendió realizar una serie de censos de ballenas en esta laguna, con el fin de registrar la variación del número de cetáceos en esta área, para observar si hubo consecuencias derivadas de los cambios de temperatura en el mar provocados por los fenómenos de El Niño y La Niña, que en general traen masas de agua más caliente o más fría, respectivamente. En este caso es importante comentar que los censos se hicieron de la misma manera que los efectuados por el doctor Swartz y sus colaboradores (Jones y Swartz, 1984), durante su estudio llevado a cabo en esta laguna de 1978 a 1982, así como los realizados por nosotros en 1996 y 1997 (Urbán, 1998), con objeto de que, al comparar el número de ballenas censadas con las registradas en años anteriores, las diferencias no pudieran atribuirse a una forma distinta de registrar dichas cifras. Además, se efectuaron búsquedas de cetáceos muertos en las costas interiores de la laguna, para elaborar un registro de la mortalidad de éstos y compararlo con el de años anteriores.

Para realizar los censos se efectuaron navegaciones a bordo de lanchas de seis a siete m de longitud, con motor fuera de borda, en las que la tripulación se componía de un lanchero, dos observadores –uno a cada lado de la embarcación– y un anotador (figura 4). Para evitar contar una ballena más de una vez, las avistadas fueron registradas cuando se encontraban en línea perpendicular a la lancha; se hizo una distinción entre las que iban acompañadas por su cría (en adelante, madre con cría) y aquellas que no tenían ballenatos (que en adelante denominaremos solitarias). Durante los censos, viajamos a una velocidad media aproximada de 11 km/h para asegurarnos de que las ballenas (las cuales viajan regularmente a velocidades de cuatro a ocho km/h dentro de la laguna) no rebasaran a la embarcación y corriéramos el riesgo de contarlas más de una vez. Los censos se realizaron a lo largo de una línea imaginaria (transecto) trazada en el centro de la laguna, desde la rompiente de la boca hasta Isla Garza en el extremo norte de la laguna (figura 4). Al ser ambas costas visibles desde esta línea media, nos aseguramos de que se contaran todas las ballenas ubicadas en la laguna.

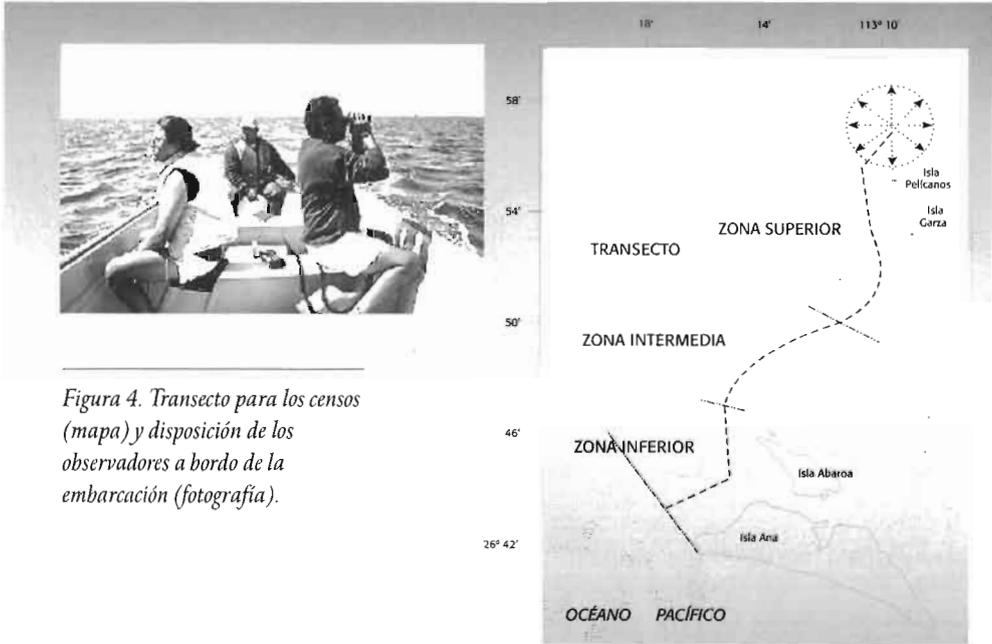


Figura 4. Transecto para los censos (mapa) y disposición de los observadores a bordo de la embarcación (fotografía).

### Cambios en la abundancia

Durante 1998 realizamos un total de 15 censos, y en 1999, 11. En general, pudimos observar diferencias en el número de ballenas presentes en la laguna durante 1998 y 1999, aunque éstas fueron mayores en 1999. En la figura 5 podemos apreciar que durante los años recientes la cifra máxima de cetáceos adultos que visitaron la laguna fue menor a las ballenas censadas por el doctor Swartz durante 1978-1982; sin embargo, el número actual se mantuvo alrededor de los 230 ejemplares, pero en 1999, la cifra máxima de mamíferos marinos que censamos fue de sólo 161. Cuando hacemos la comparación por separado entre las madres con cría y las sin cría (solitarias), podemos observar (figura 5) que fueron precisamente las primeras las menos vistas en esta laguna, ya que de 126 madres contadas en 1997, en 1999 sólo pudimos contar un máximo de 52 parejas de madre y cría, mientras que las segundas se mantuvieron más o menos en los mismos números, pero en 1998 pudimos observar un valor muy alto de estos ejemplares, alcanzando los 178 individuos en ese año.

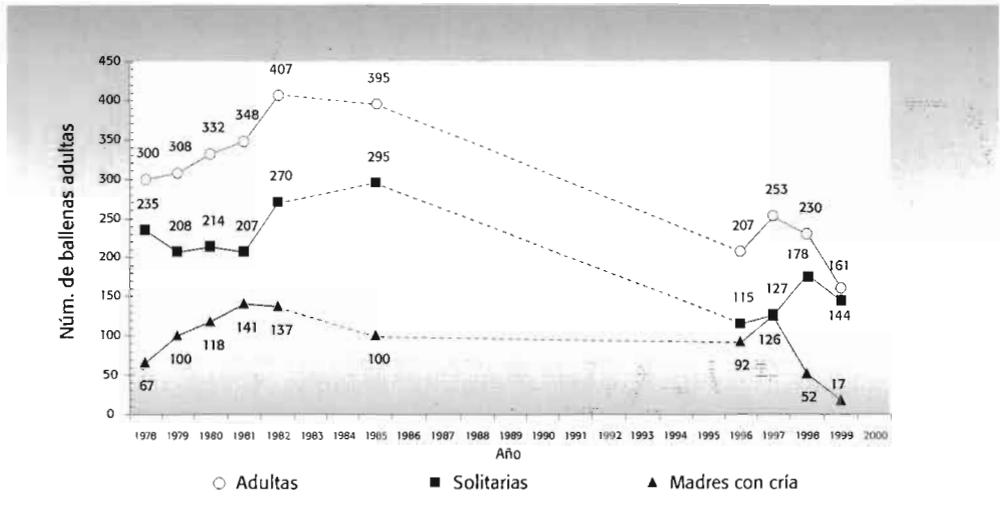


Figura 5. Resumen histórico del número máximo de ballenas grises censadas en Laguna San Ignacio de 1978 a 1999 (las líneas punteadas representan años en los que no fueron realizados censos en la laguna. Adultas se refiere a los ejemplares adultos, sin tomar en cuenta el número de crías. Solitarias hace referencia a los individuos no acompañados de ballenatos, y Madres con cría, a las parejas de ballenas, adultas y cría.

### Mortalidad

A lo largo de nuestro estudio pudimos observar que en 1996 murieron tres crías dentro de la laguna; en 1997, seis crías y un adulto, en 1998, tres crías, y en 1999, dos crías y tres adultos (tabla 1). De acuerdo con los estudios realizados de 1978 a 1982, el número de crías muertas no fue anormal en alguno de los cuatro años; sin embargo, sí es de destacarse el deceso de los tres adultos. Para poder comparar estos números con los de años anteriores, se estimó lo que denominamos la tasa mínima de mortalidad de crías para cada temporada, la cual relaciona el número de crías muertas con el nacimiento de crías por año, esto dio como resultado que la tasa estimada para 1998 y 1999 fuera mayor que la calculada para 1978-1982 y 1996-1997, es decir, que dicha tasa se incrementó durante los eventos de El Niño y La Niña.

**TABLA 1****Relación de ballenas grises muertas de 1996 a 1999 en Laguna San Ignacio en época de temporada.**

	Fecha	Categoría	Sexo	Longitud (m)
1996	enero 31	cría	-	-
	febrero 1	cría	-	-
	marzo 15	cría	-	-
1997	febrero 13	cría	macho	4.5
	febrero 16	cría	hembra	5.0
	febrero 17	cría	hembra	4.6
	febrero 21	cría	macho	4.7
	febrero 23	adulto	macho	12.1
	febrero 27	cría	macho	5.7
	marzo 15	cría	macho	5.0
1998	enero 21	cría	macho	4.1
	enero 27	cría	hembra	4.0
	febrero 14	cría	hembra	4.0
1999	febrero 6	cría	hembra	4.2
	febrero 18	adulto	?	12.5
	marzo 4	adulto	hembra	12.0
	marzo 15	adulto	hembra	14.1
	marzo 28	cría	hembra	8.0

**Comentarios**

Una de las razones por las que las ballenas grises emprenden una migración tan larga se debe a los cambios de temperatura del agua. Sus áreas de alimentación se encuentran situadas muy al norte; esto implica que durante el invierno se registren temperaturas muy bajas que ocasionarían la muerte de sus ballenatos, los cuales no están adaptados a tales condiciones climáticas (carecen de una capa de grasa bajo la piel completamente formada y su tamaño aún no es el adecuado). Esto nos hace suponer que la temperatura del agua de las lagunas mexicanas a las que arriban cada invierno es la adecuada para el nacimiento y el inicio del desarrollo de sus crías, además de que estas zonas ofrecen protección contra depredadores que no se aventuran en ellas, y otras características importantes.

Al considerar lo anterior, podemos decir que cambios de relevancia en la temperatura del agua, como los que ocurren con los fenómenos de El Niño y La Niña, provocan modificaciones en la distribución de las ballenas, las cuales se relacionarán con la abundancia de éstas en sus zonas de distribución invernal. Con temperaturas más elevadas, esperaríamos una distribución de los cetáceos más hacia el norte (con agua más fría, tal y como sucedió durante El Niño de 1998), y con temperaturas más bajas, una distribución de las ballenas grises más hacia el sur, como también ocurrió en 1999, año en el que muchos de estos cetáceos se observaron en zonas donde normalmente no son vistos, tales como la región norte del Golfo de California, y tan al sur como Bahía de Banderas, en las costas de Jalisco y Nayarit.

También se sabe que eventos como El Niño y La Niña afectan la productividad primaria de las zonas influidas por estas masas de agua, lo que provoca cambios en la cantidad de alimento disponible y, por lo mismo, una alteración general de las cadenas alimenticias en el mar, que finalmente tienen efectos en la alimentación de organismos mayores y provocan situaciones de grandes mortalidades. En el caso de las ballenas grises, observamos que es posible que se haya registrado una consecuencia de este tipo, pues, como ya lo mencionamos, la mortalidad de crías fue mayor en 1998 y 1999, además de la presencia de tres hembras adultas muertas en 1999. Precisamente en ese año se observó un gran número de ballenas muertas a lo largo de la costa occidental de la península de California, donde se registraron más de 70, de las cuales aproximadamente 75% fueron hembras (Pérez Cortés *et al.*, 1999).

Con base en lo anterior, podemos suponer que los eventos de El Niño y La Niña generaron consecuencias en la condición nutricional de las ballenas grises, pero, sobre todo, en la condición de las hembras maduras (que tienen grandes gastos de energía durante la preñez y la lactancia), tal vez debido a la reducción en la disponibilidad de alimento, por la influencia de las condiciones oceanográficas que prevalecieron durante esos años en sus zonas de alimentación, de ahí que se haya registrado un mayor número de hembras muertas. La mayor mortalidad de crías durante esos años puede deberse a que dicha dis-

minución de alimento disponible haya provocado una condición nutricional no adecuada de las hembras, y por lo mismo que las crías hayan nacido con mala condición física, o bien, a que las reservas de las madres no hayan sido las adecuadas para proporcionar los elementos nutricionales mínimos durante la lactancia, provocando mayor mortalidad de crías.

---

### **Bibliografía**

- Jones, M.L., and Swartz, S.L. "Demography and Phenology of Gray Whales and Evaluation of Whale-watching Activities in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico", en *The Gray Whale, Eschrichtius robustus*, Jones, M.L., Swartz, S.L., and Leatherwood, S. (eds.), Orlando, Florida, Academic Press Inc., 1984, pp. 309-374.
- Pérez Cortés, H.; J. Urbán R.; F. Ollervides; V. Sánchez S.; J. Pettis; P. Loreto y M.A. Palmeros. "Varamiento de ballenas grises en B.C.S. durante el invierno 1998-1999 ¿Situación anormal?", trabajo presentado en la XXIV Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos, Mazatlán, del 18 al 22 de abril de 1999.
- Rice, D. W., and A. A. Wolman. "The Life History and Ecology of Gray Whale (*Eschrichtius robustus*)", *Spec. Publ. Am. Soc. Mammal*, 3, pp. 1-142.
- Urbán, R. J. "La ballena gris y la conservación de su habitat en la península de Baja California", en *Destrucción del habitat*, G. Toledo C., y M. Leal P. (eds.), México, UNAM, Programa Universitario del Medio Ambiente, 1998, pp. 213-230.

---

# **ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA POBLACIÓN DE MAMÍFEROS PEQUEÑOS COMO RESPUESTA A LOS CAMBIOS DE LA VEGETACIÓN POR EL EFECTO DE EL NIÑO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA**

Sergio Ticul Álvarez Castañeda y Patricia Cortés Calva

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (Cibnor)  
Mar Bermejo 195  
Col. Playa Palo Santa Rita  
23090 La Paz, B.C.S., México

**L**a dispersión de semillas por roedores representa una de las mejores evidencias de adaptación en la relación planta-animal. Muchas de las plantas que forman parte de esta relación tienen modificaciones morfológicas y estructurales que hacen más atractiva esta dispersión. Entre los mamíferos, las poblaciones de roedores se caracterizan por una fuerte fluctuación anual en su número; los cambios en las densidades poblacionales están correlacionados con la variación en la calidad y la cantidad de la vegetación, así como con la interacción de las condiciones climatológicas y de los nutrientes que favorezcan la producción de semillas.

A lo largo del tiempo, un tema central en ecología ha sido el de las fluctuaciones poblacionales de pequeños mamíferos, por lo que se ha estudiado la dinámica cíclica multianual de ciertos roedores. En algunos estudios realizados en la región desértica de Chile, se han correlacionado años con gran cantidad de lluvia y el incremento de la productividad primaria, así como la reciprocidad con el fenómeno El Niño. Sin embargo, poco se conoce aún acerca de estudios a largo plazo, al igual que sobre los disturbios que ocasiona El Niño/Oscilación del Sur (ENOS).

Las comunidades de pequeños roedores (heterómidos, múridos y

algunos sciuridos) de regiones desérticas de América del Norte presentan adaptaciones que han favorecido la presencia y colonización de distintos hábitat. Los heterómidos son buenos para recolectar y almacenar semillas; se ha observado que las semillas hacinadas en las madrigueras en ocasiones no llegan a ser consumidas, de tal forma que muchas de ellas germinan, ayudando así a la reforestación del hábitat. Existen hipótesis acerca de que las especies grandes de heterómidos se asocian a microhábitat abiertos y tienden a seleccionar semillas grandes, mientras que las pequeñas se asocian a microhábitat arbustivos y tienden a seleccionar semillas pequeñas y dispersas. Estos patrones de uso diferencial del microhábitat y de las semillas han sido relacionados con los gastos energéticos de movimiento, cosecha o forrajeo (formas bípedas que puedan explotar de manera más amplia y eficiente semillas dispersas y asociación con la evasión a depredadores). La información ecológica de algunos heterómidos (ratas canguro y ratones de abazones) ha sido obtenida de especies procedentes de los desiertos fríos de los Estados Unidos (Great Basin y Mojave), donde las condiciones climáticas son consideradas extremas, a diferencia de las que se registran en el desierto árido tropical de Baja California Sur. Las hipótesis desarrolladas en los trabajos emprendidos con estos roedores hacen pensar acerca de las interacciones sinérgicas de los factores bióticos (vegetación, competencia, depredación) y abióticos (temperatura, precipitación, humedad, suelo), y sobre su influencia en la biología de las especies simpátricas.

En el proyecto apoyado por el Conacyt, se propusieron, como objetivos principales, determinar la variación en la densidad y estructura de las poblaciones de roedores, en especial de heterómidos, en áreas semiáridas con actividad humana y sin ella, y establecer el efecto de la variación anual de la vegetación, por la incidencia de lluvias en función del fenómeno ENOS, y como objetivos secundarios, contar con la infraestructura de áreas de exclusión en superficies silvestres, que permitan determinar las variaciones de roedores y de la flora en un estudio a largo plazo, y entender cómo afectan los cambios climáticos a las estructuras de estas comunidades, a los patrones de reproducción, a la estructura de edades, entre otros aspectos más.

Para el área de estudio, se eligieron dos localidades de 4 900 m<sup>2</sup> con diferentes grados de perturbación del habitat, área sometida a pastoreo (Brisamar) y área natural (El Comitán). Ambas localidades corresponden al matorral árido tropical, y las especies vegetales representativas en ellas fueron la pitaya agria (*Stenocereus gummosus*), la mamilaria (*Mammillaria* sp.), la cholla (*Opuntia cholla*), el lombay (*Jatropha cinerea*), el cardón (*Pachycereus pringlei*), y el palo Adán (*Fouquieria diguetii*). Zoogeográficamente, la península es muy complicada, y actualmente existen en ella por lo menos 47 especies de mamíferos terrestres, de los cuales el 63% está constituido por los de talla pequeña. En el área de estudio encontramos cuatro especies de heterómidos (*Dipodomys merriami*, *Chaetodipus arenarius*, *C. baileyi*, *C. spinatus*) y dos de múridos (*Neotoma lepida*, *Peromyscus eva*), además de especies depredadoras, como coyotes (*Canis latrans*), zorras (*Urocyon cinereoargenteus*), tejones (*Taxidea taxus*), cacomixtles (*Bassariscus astutus*), y gatos montés (*Lynx rufus*).

### Metodología

En este muestreo se aplicó, en dos sitios diferentes, la misma metodología: captura-marcaje-recaptura; se colocaron 49 trampas Sherman (para animales vivos) en cada sitio, durante cinco días al mes, a lo largo de cinco años, lo cual permitió la obtención de información de largo plazo, en la cual se incluyen periodos bajo condiciones pre Niño, Niño y Niña. Durante ese lapso se recopilaron datos biológicos de roedores (medidas morfométricas, peso, sexo, condición reproductora y edad relativa), de estructura vegetal (densidad y cobertura) y climatológica (temperatura y precipitación). Dichos datos servirán de herramienta en la determinación de las variaciones naturales de los sistemas –las de El Niño y La Niña–, así como para establecer el grado de perturbación que éstas causan.

### Resultados

El estudio dio inicio en octubre de 1994, con recursos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste; de 1997 a 1998 fue apoyado por el Conacyt, y posteriormente (1999-2000) se continuó de

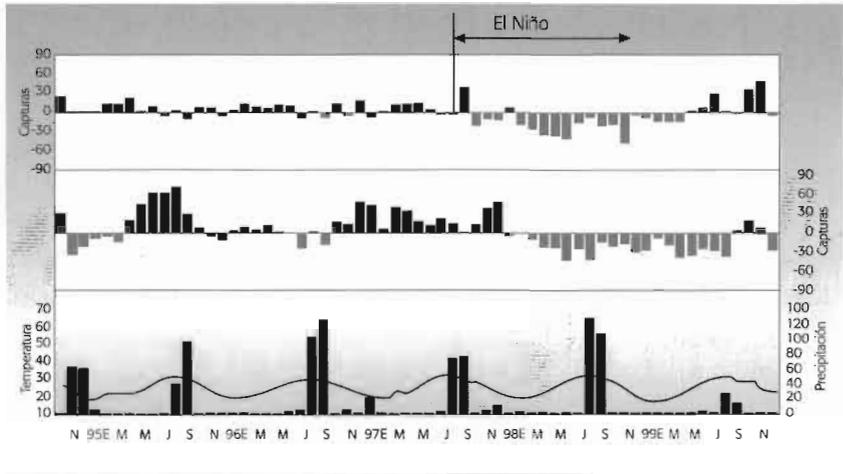


Figura 1. Variación de la densidad de las poblaciones de roedores, así como de la precipitación (en mm) y de la temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ ) de octubre de 1994 a diciembre de 1999. A) Área de Brisamar sometida a pastoreo. B) Área de Comitán en condiciones naturales. C) Diagrama hombro térmico.

nueva cuenta con recursos del Cibnor. Este tipo de investigaciones toca aspectos que involucran a la mastofauna de la región, en la península de Baja California, investigaciones que no se habían llevado a cabo con anterioridad. El análisis de los resultados del estudio mencionado al inicio de este párrafo comprende de octubre de 1994 a septiembre de 1999, lo que equivale a 60 meses de muestreo, un esfuerzo de captura de 300 noches, la colocación de un total de 29 400 trampas en ambas localidades, y la captura de 2 232 roedores en el área natural y 3 605 en el área de pastoreo. Las especies de roedores presentes en el área de estudio fueron: *Chaetodipus arenarius*, *C. baileyi*, *C. spinatus*, *Dipodomys merriami* y *P. eva*. Las densidades relativas de las poblaciones de roedores mantienen una fluctuación determinada para los periodos de lluvias y de secas en los dos sitios de muestreo (figura 1), pero es preciso aclarar que la respuesta biológica de las poblaciones de roedores se da aproximadamente cinco meses después de que ocurre el fenómeno meteorológico. En 1997, cuando se presentó el evento El Niño, se modificó el patrón de precipitación para la zona,

pues de acuerdo con García (1983), en la región la estación seca va de febrero a julio, y la lluviosa, de agosto a enero, y el patrón de precipitación está estrechamente relacionado con la presencia de huracanes. En el año de El Niño observamos que la lluvia fue menos abundante, pero más dispersa (194 mm), si se compara con las ocurridas en el año pre-ENOS (1996) y en 1998, años en los que se registraron precipitaciones de 242 mm y 241 mm, respectivamente, mientras que en 1999 se presentó la precipitación más baja de los cinco años (44 mm).

En el área sometida a pastoreo se observaron anomalías positivas durante los años pre-ENOS (1995-1997), como el incremento en la densidad de roedores. En 1995 se registraron densidades más elevadas (mayo a septiembre); los meses subsiguientes mostraron un decremento en la densidad, recuperándose ésta en noviembre de 1996 y durante la mayor parte de 1997. Para enero de 1998 comenzaron a observarse anomalías negativas en la comunidad de roedores, y durante el resto de 1998 y la mayor parte de 1999 se produjo un cambio drástico en las poblaciones; de septiembre a noviembre de ese último año se recuperaron las densidades de las poblaciones.

En el área bajo condiciones naturales, pudimos observar un patrón de anomalías en los años pre-ENOS. En 1995, la mayoría de los meses tuvieron anomalías positivas, excepto julio, septiembre y diciembre, mientras que en 1996 las anomalías negativas se presentaron en julio, septiembre y noviembre, y se observó que en diciembre se capturó un número creciente de roedores, situación poco común para ese mes. En septiembre de 1997 se observó el mayor valor registrado en esa anualidad; a partir de octubre de ese mismo año hasta abril de 1999, las anomalías fueron negativas. Durante ese intervalo de tiempo (abril-junio, noviembre) la población decreció de manera notable, y a partir de mayo de 1999 se registró una recuperación en la población.

Al final del periodo El Niño (agosto-septiembre de 1998), las precipitaciones fueron anormales, pues se presentaron en dos eventos independientes, de dos días cada uno. En esa ocasión llovió el equivalente a toda la precipitación anual promedio de los años previos,

por lo que la población de roedores debería haberse recuperado en 1999, recuperación que no ocurrió. Hemos considerado dos hipótesis probables para intentar aclarar por qué la población de roedores no se recuperó; la primera de ellas se orienta a que, dada la intensidad de ambos eventos, el agua desembocó hacia el mar, lo cual no permitió que se registraran filtraciones en el suelo demasiado seco, y la segunda supone que, al adelantarse ambos eventos a la temporada “normal” de lluvias, cuando la temperatura media era cercana a los 30°C, con máximas de 35 a 40°C, y el suelo se encontraba totalmente seco y caliente, el proceso de evaporación resultó demasiado rápido y no permitió el estancamiento del agua para su posterior filtración, impidiendo así la germinación de las plantas anuales.

Se consideró que a partir de noviembre de 1998 se presentó el evento de La Niña en el área de estudio, por lo cual la precipitación tuvo un decremento considerable. En 1999 se registraron los valores de precipitación más bajos ocurridos en los últimos seis años, lo que repercutió de manera notable en la población de consumidores primarios (roedores) en el año 2000, a pesar de que en agosto y septiembre de 1998 hubo precipitaciones elevadas. Consideramos que para los años 2000-2001 las poblaciones de consumidores primarios alcanzarán los niveles más bajos registrados, aun cuando haya habido un año de abundancia, como 1997, en el que los consumidores primarios incrementaron su población. El efecto de La Niña, seguido por un año igual de seco, repercute aún más en las poblaciones, pues éstas agotan en exceso los recursos, lo que ocasiona mayor competencia y la modificación sustancial del hábitat.

El ciclo de El Niño no favoreció con lluvias sustanciales al área de estudio, pero el periodo de La Niña sí repercutió en una sequía extrema. La información que se generó durante el año 2000 indica que la población de roedores ha sido menguada de manera sustancial, como consecuencia de tres años consecutivos con periodos de precipitación inadecuada y escasa, por lo que podemos concluir que las poblaciones de consumidores primarios son muy vulnerables a las sequías prolongadas y al efecto de éstas, pues al parecer requieren de un periodo de estabilización en la temporada de lluvias. También se observó que

la precipitación en la época más cálida no repercute en la producción de plantas, ya que las altas temperaturas producen evaporación, por lo que el agua no está disponible para las semillas y es escasa para sustentar el desarrollo fenológico de la planta.

---

### **Agradecimientos**

Expresamos nuestro reconocimiento a Óscar Armendáriz por su participación en diferentes aspectos del proyecto, así como también al grupo de pequeños mamíferos del Cibnor, S.C., y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido par desarrollar los proyectos 012PÑ 1297 y J28319-N.

# POSIBLES EFECTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO EN LAS COMUNIDADES DE POLIQUETOS QUE HABITAN EL FONDO MARINO DE LA LAGUNA DE SAN QUINTÍN, BAJA CALIFORNIA

Victoria Díaz Castañeda

Departamento de Ecología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)

Apartado Postal 2732

22880 Ensenada, B.C., México

**E**n la costa del Pacífico mexicano se localizan algunas importantes lagunas con características sedimentarias e hidrológicas que las hacen sitios ideales para desarrollar la acuacultura. La laguna de San Quintín ubicada en Baja California (figura 1) es una de ellas, presenta una alta productividad y diversidad de organismos gra-

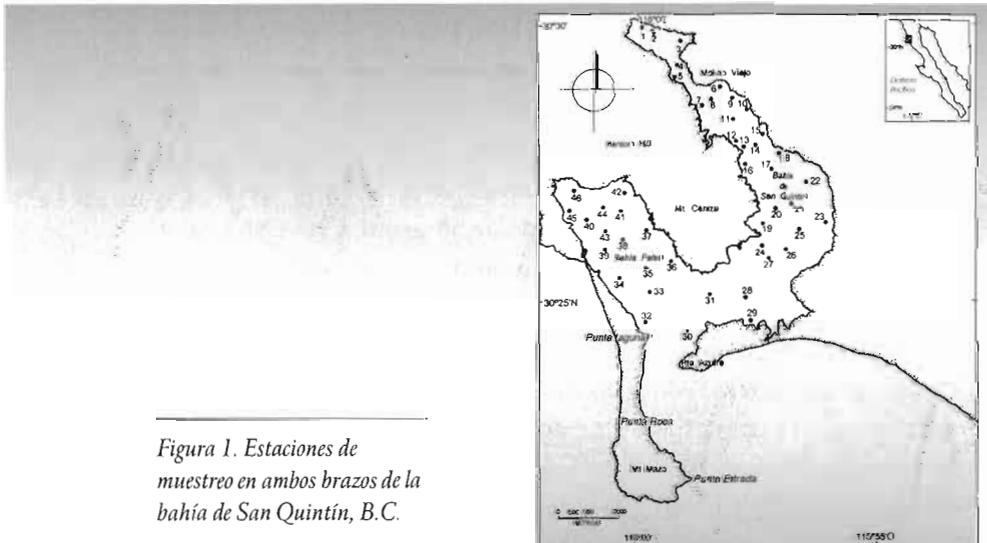


Figura 1. Estaciones de muestreo en ambos brazos de la bahía de San Quintín, B.C.

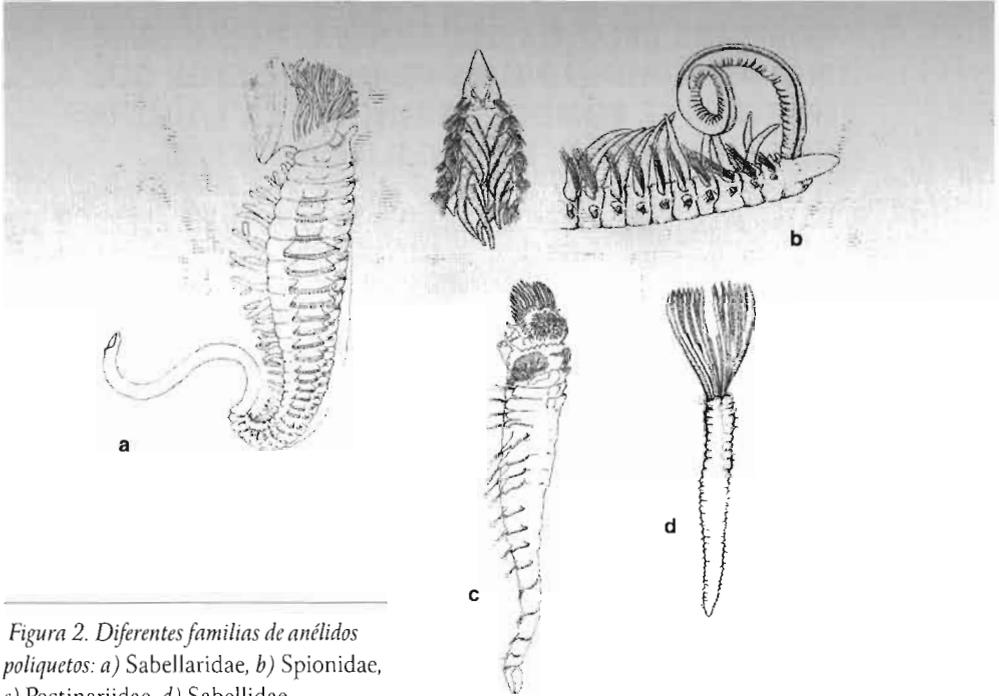


Figura 2. Diferentes familias de anélidos poliquetos: a) Sabellaridae, b) Spionidae, c) Pectinariidae, d) Sabellidae.

cias a las surgencias que ahí ocurren. Las surgencias son afloramientos de agua profunda del mar adyacente, fría y rica en nutrientes, que se dan periódicamente en esta zona. Esta laguna es también un sitio importante para la alimentación y descanso de aves migratoria; tiene una superficie de 42 km<sup>2</sup> y cerca del 70% de ella está cubierto por una planta conocida científicamente como *Zostera marina*.

Los anélidos poliquetos, emparentados con las lombrices de tierra, constituyen el grupo zoológico más abundante y diverso en formas del fondo marino (figura 2), son dominantes en las comunidades de fondos blandos, aunque también habitan sustratos duros (como corales y rocas), e importantes en las cadenas alimenticias, ya sea como depredadores o como presas para otros animales (crustáceos, peces y aves). Varias especies de poliquetos remueven el sedimento marino, oxigenándolo y facilitando la incorporación de la materia orgánica (Valiela, 1984), es decir, son como “lombrices de mar”. Al-

gunos poliquetos pueden usarse como indicadores de contaminación o de perturbación, y la variedad de especies y abundancia de poliquetos nos dan una idea sobre el “estado de salud” del ecosistema (Díaz Castañeda *et al.*, 1989).

En el presente trabajo analizamos la composición y estructura de estas comunidades antes y después de la fuerte señal El Niño 1997-1998, que aumentó la temperatura del Pacífico oriental de forma anormal durante varios meses.

El Niño es una pequeña parte de una oscilación en la atmósfera llamada Oscilación del Sur, en ella disminuye el gradiente normal de presión en la región de alta presión atmosférica del sureste del Pacífico a la región de baja presión cerca de Indonesia. Cambia el patrón de vientos en el Ecuador y se presentan anomalías en la temperatura superficial del agua de hasta 5°C (Mann y Lazier, 1996).

Para estudiar los poliquetos, por medio del buceo se recolectaron sedimentos del fondo marino en 46 estaciones distribuidas en toda la laguna (figura 1), el sedimento se lavó con un tamiz y los organismos retenidos se preservaron e identificaron hasta el nivel de especie.

## Resultados

En 1995 se recolectó un total de 3 225 poliquetos, pertenecientes a 28 familias, 56 géneros y 104 especies. Las familias más abundantes fueron: Capitellidae (19%), Spionidae (17%) y Sabellidae (14%) (figura 3a), y las especies mejor representadas fueron: *Prionospio heterobranchia* (331 ejemplares), *Chone infundibuliformis* (294) y *Mediomastus californiensis* (263), según se observa en la figura 3b.

En 1998, en las mismas estaciones, se recolectaron 3 146 poliquetos pertenecientes a 21 familias, 39 géneros y 62 especies. Las familias más abundantes fueron: Spionidae (48%), Capitellidae (12%) y Syllidae (11%), y las especies de mayor abundancia fueron: *Prionospio heterobranchia* (832 ejemplares), *Polydora websteri* (548) y *Scoloplos acmeceps* (369).

Se observa que el número de animales recolectados en ambas campañas de muestreo es muy parecido; sin embargo, se nota una disminución muy importante en el número de especies presentes (éste pasa

de 104 a sólo 62). Lo anterior indica un decremento en la complejidad y estructura de las comunidades. Siete de las familias presentes en 1995 no volvieron a colectarse en 1998 (Dorvilleidae, Polynoidae, Oweniidae, Scalibregmatidae, Sternapsidae y Sigalionidae). Algunas de estas familias tienen varias especies carnívoras; probablemente el incremento en la temperatura disminuyó la abundancia de sus presas (alimento) y afectó negativamente el reclutamiento, que es el paso

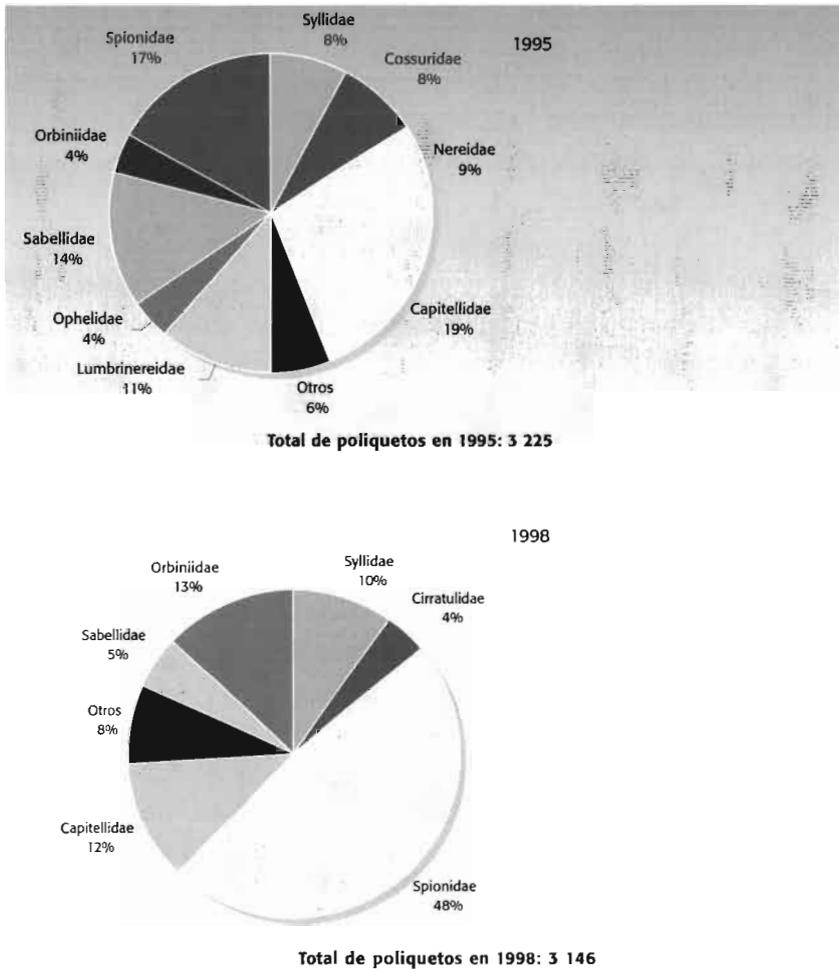


Figura 3a. Proporción de las diferentes familias en la laguna de San Quintín en 1995 y 1998.

de vivir en la masa de agua como larvas a entrar a formar parte del bentos, viviendo en el fondo marino. La especie dominante *P. heterobranchia* (Spionidae) casi triplicó su abundancia en 1998; este animal puede alimentarse de los detritos y poblaciones bacterianas asociadas a sedimentos, así como filtrar el agua de mar, capturando diversas partículas orgánicas.

La diversidad tiene dos componentes: la variedad (número de es-

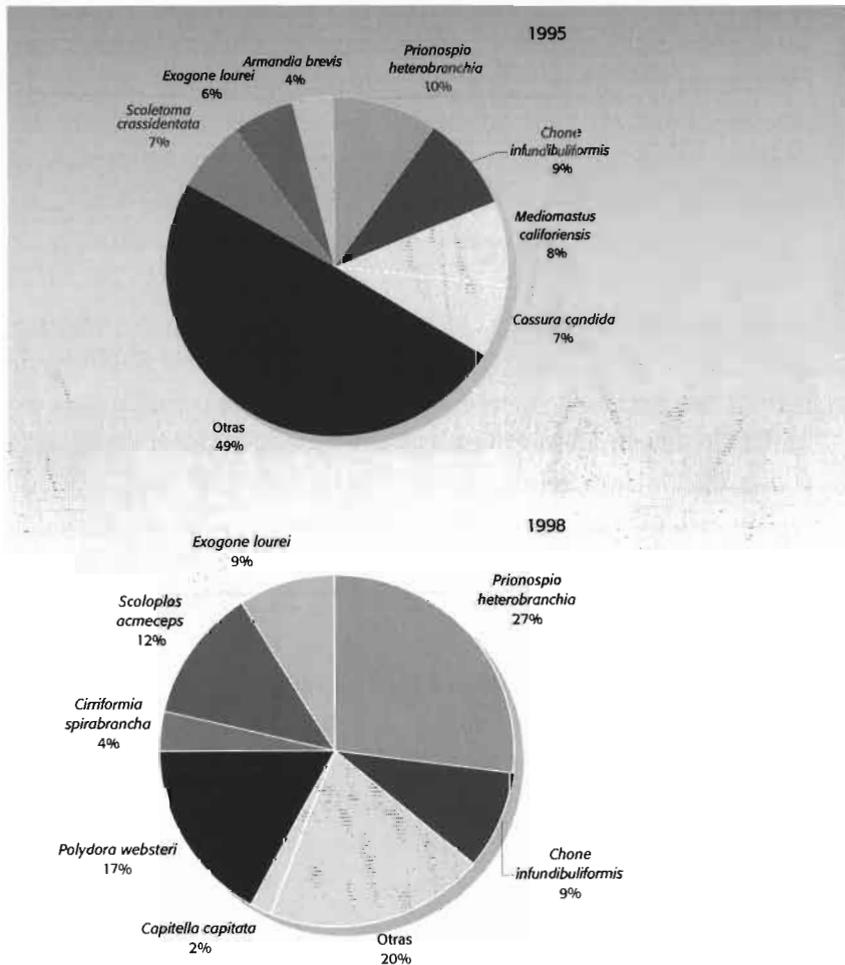


Figura 3b. Porcentaje de las principales especies en 1995 y 1998.

pecies) y su abundancia relativa (cómo se distribuyen los individuos entre las especies). Es importante calcular la diversidad pues nos da una idea del estado del ecosistema. Se ha considerado que comunidades con alta diversidad representan mejores condiciones ambientales que aquellas con baja diversidad. El Índice de Shannon (figura 4) es una fórmula matemática que nos ayuda a conocer los valores de diversidad; éstos por lo general varían entre 1.0 y 3.50, y muy rara vez son superiores a 4.50 (Magurran, 1988). La diversidad de especies es importante pues contribuye al funcionamiento del ecosistema (di Castri y Younes, 1990). En 1995, en el brazo San Quintín varias estaciones presentaron valores superiores a 3.50 (estación 14: 4.15), las estaciones 5, 9 y 20 alcanzaron una riqueza de 25 especies. En Bahía Falsa sólo la estación 41 presentó un valor mayor a 3.50, ninguna estación tuvo valores mayores a 4.00 ni alcanzó una riqueza específica de 25 especies; el valor más elevado lo registró la Estación 22 y fue de 19 especies.

De manera general, San Quintín presentó siempre mayores valores de abundancia y diversidad; tal vez en Bahía Falsa el cultivo de ostión, aun cuando no es intensivo, sí ha afectado el fondo por acumulación de materia orgánica, ocasionando una disminución de la concentración de oxígeno y limitando la existencia de ciertas especies.

Alrededor de la mitad de las especies recolectadas corresponden a nuevos registros para la zona, esto significa que no se habían identificado antes en el sitio. Se encontró un nuevo género y una nueva especie para la ciencia, al cual denominé *Sphaerophallax cicese* (en honor al Centro en el que trabajo). Este poliqueto pertenece a la familia Syllidae (un artículo relativo a este tema fue sometido a consideración de la revista *Proceedings of the Biological Society*, Washington).

Las familias que incrementaron su abundancia después de El Niño fueron esencialmente depositóvoros, como por ejemplo, Spionidae, Orbiniidae, etc., y también algunos carnívoros, como los sílidos.

Para concluir, entre 1995 y 1998 se detectó una disminución importante de especies y de los valores de diversidad, lo cual indica una simplificación de las comunidades de poliquetos que habitan esta laguna. También se observó un aumento de los depositóvoros, es decir,

los animales que se alimentan del sedimento y su materia orgánica asociada. Lo anterior probablemente se debe al incremento de la temperatura del mar y a las modificaciones en el patrón de lluvias en la región por la fuerte señal El Niño 1997-1998.

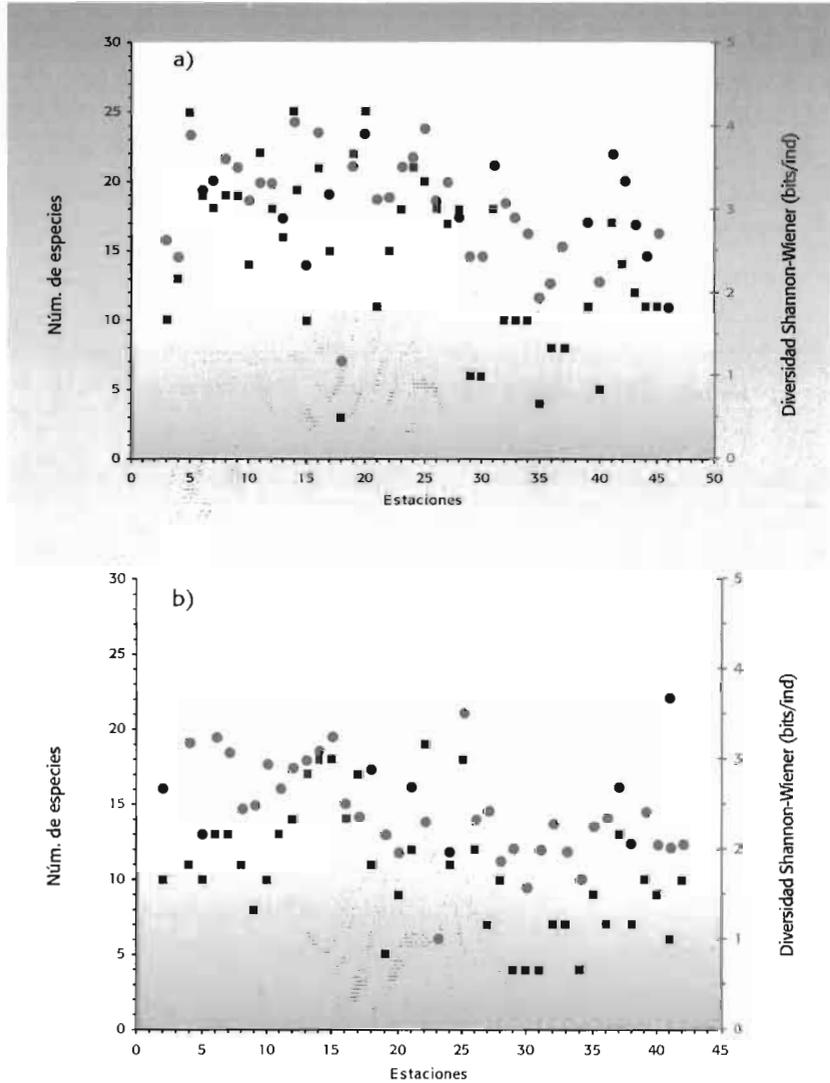


Figura 4. Número de especies y diversidad en la laguna de San Quintín: a) 1995, b) 1998.

---

## **Bibliografía**

- Mann, K., and R. N. Lazier. *Dynamics of Marine Ecosystems*, Blackwell Science, Inc., 1996, 387 p.
- Di Castri, F., and T. Younes. "Ecosystems Function of Biological Diversity", *Biology International 22*, Special Issue, IUBS, Paris, 1990.
- Valiela, I. *Marine Ecological Processes*, New York, Springer-Verlag, 1984, 546 p.
- Díaz Castañeda, V., A. Richard y S. Frontier "Preliminary Results on Colonization, Recovery and Succession in a Polluted Area of the North Sea", en *Topics in Marine Biology*, J. Ros ed., Proc. 22nd European Marine Biology Symposium, Barcelona, España, y en *Sci. Mar.* 53 (2-3), 1989, pp. 705-716.
- Magurran, A. *Ecological Diversity and its Measurement*, Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1988, 179 p.

---

# EFFECTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO SOBRE ORGANISMOS BENTÓNICOS DE BAJA CALIFORNIA

Sergio A. Guzmán del Prío, Laura Carreón Palau, Jorge Belmar Pérez,  
Jorge Carrillo Laguna y Raúl Herrera Fragoso

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, del Instituto Politécnico Nacional (IPN)  
Departamento de Zoología, Laboratorio de Ecología  
Prol. Carpio y Plan de Ayala  
11340 México, D.F.  
sguzman@bios.enb.ipn.mx

---

## Introducción

**E**l fenómeno El Niño es un trastorno cíclico de los patrones climáticos en todo el mundo, caracterizado por un calentamiento anormal de las aguas del Océano Pacífico (Suplee, 1999). Hasta hace unos 20 años el fenómeno era un problema de interés exclusivo de científicos y, si acaso, de los pescadores de anchoveta y sardina del Pacífico, que veían escasear dichas especies durante los años Niño. Sin embargo, a partir de El Niño de 1983, y el de 1997-1998, los más intensos del siglo, el interés por este fenómeno se ha extendido a muchos sectores de la población, debido principalmente a la amplia difusión que los distintos medios de comunicación hacen en torno al mismo.

Actualmente se sabe que el fenómeno ejerce su influencia en todo el mundo y que sus efectos son devastadores en algunas regiones del planeta, provocando sequías o inundaciones desastrosas. En el caso de las especies de interés pesquero y de la fauna marina en general, los efectos pueden ir desde una drástica disminución en la abundancia de las poblaciones hasta cambios en la biodiversidad de los ecosistemas. Todas estas alteraciones ejercen, temporalmente, un efecto negativo sobre las especies más sensibles de la comunidad, aunque

su impacto en la misma depende de la intensidad y duración del fenómeno.

Una de las regiones de México donde se manifiesta más intensamente este fenómeno es la costa occidental de la península de Baja California. Bahía Tortugas es un importante centro pesquero localizado en la porción media de esta península (figura 1), donde se explotan especies de alto valor comercial como abulón, langosta, caracol, algas y peces. La presencia de El Niño de 1997 coincidió con un proyecto de investigación que los autores de este artículo veníamos desarrollando en esa zona. Este hecho propició la oportunidad de evaluar los efectos de El Niño sobre las poblaciones juveniles de abulón (*Haliotis* sp.) y de langosta roja (*Panulirus interruptus*), así como también en los mantos de las grandes algas laminariales (*Macrocystis pyrifera* y *Eisenia arborea*) que cubren amplias extensiones de la superficie del mar en esa región del país.

### El paisaje submarino

Uno de los cambios más dramáticos en la vida marina de esta zona fue el impacto de El Niño sobre los mantos de sargazo gigante (*Macrocystis pyrifera*), los cuales en condiciones normales cubren grandes extensiones de la superficie del mar y dan abrigo a múltiples especies de invertebrados, peces y algas. Durante el efecto de El Niño, los mantos desaparecieron en su totalidad dando al paisaje submarino un aspecto de desolación, caracterizado por una gran cantidad de esque-

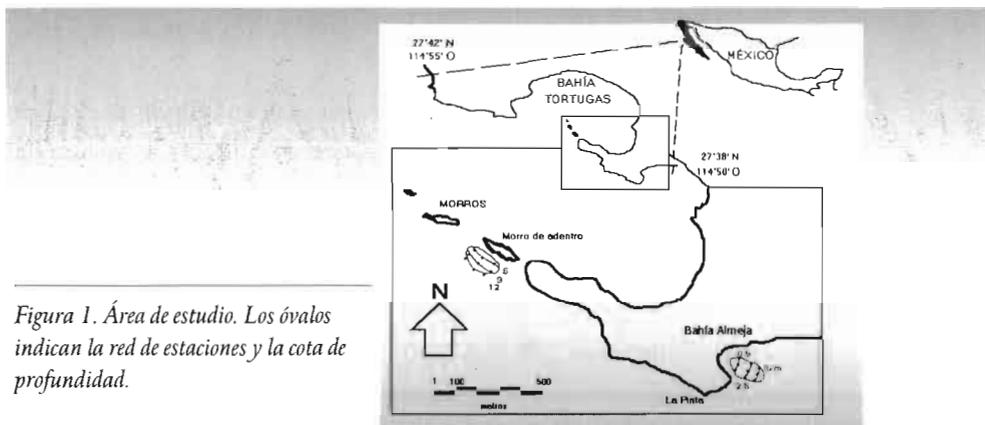


Figura 1. Área de estudio. Los óvalos indican la red de estaciones y la cota de profundidad.

letos de erizos, conchas vacías de caracoles y abulones, así como la pérdida de gran parte de la carpeta vegetal.

Cuando observamos este impacto, nos planteamos la hipótesis de que la elevación extrema de la temperatura, que fue de 4°C por arriba del promedio (anomalía térmica) (figura 2) afectaría no sólo a los organismos adultos sino también a las larvas y juveniles nacidos meses atrás. La forma de evaluar tal impacto fue medir la variación en la abundancia de juveniles de abulón, langosta y algas de un año de edad o menos. El presente artículo resume los resultados del efecto de El Niño en dichas especies.

### Abulón

En el caso de esta especie, El Niño produjo una disminución drástica en la población de juveniles, registrándose cambios de 11 a dos organismos por unidad de área, desde el otoño de 1996 hasta la prima-

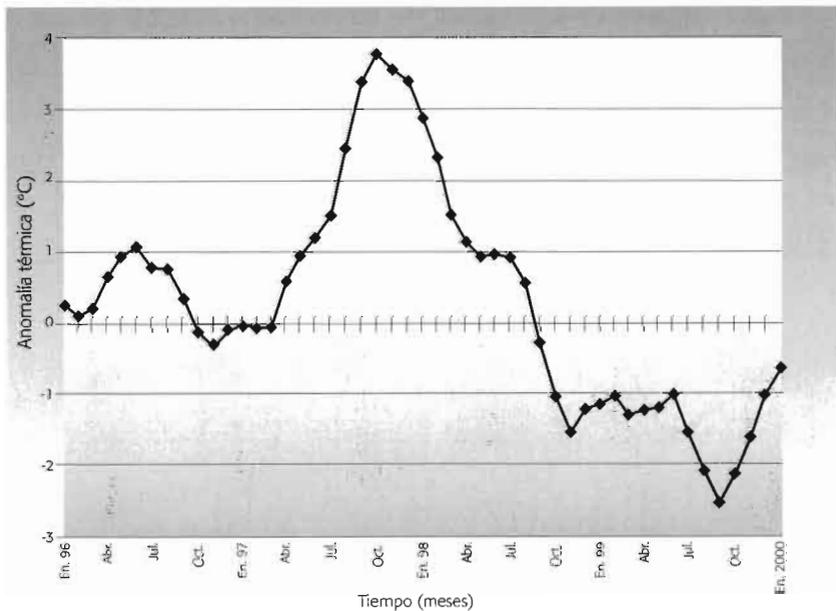


Figura 2. Anomalías térmicas del cuadrante geográfico de Bahía Tortugas (27°N, 114°O) en el periodo de enero de 1996 a enero del 2000 (COADS/NOAA).

vera de 1998. A partir del invierno de 1998 se incrementó nuevamente su abundancia, como se aprecia en la figura 3a, y otro de los efectos observados fue una gran variación en el tamaño promedio de los juveniles; la figura 3b muestra que a partir del otoño de 1997 y en temporadas subsiguientes se registró la mayor variación de esta medida, lo cual refleja indirectamente el efecto de El Niño en la variabilidad de las condiciones de crecimiento de los juveniles, al afectar posiblemente las fuentes de alimentación de los mismos.

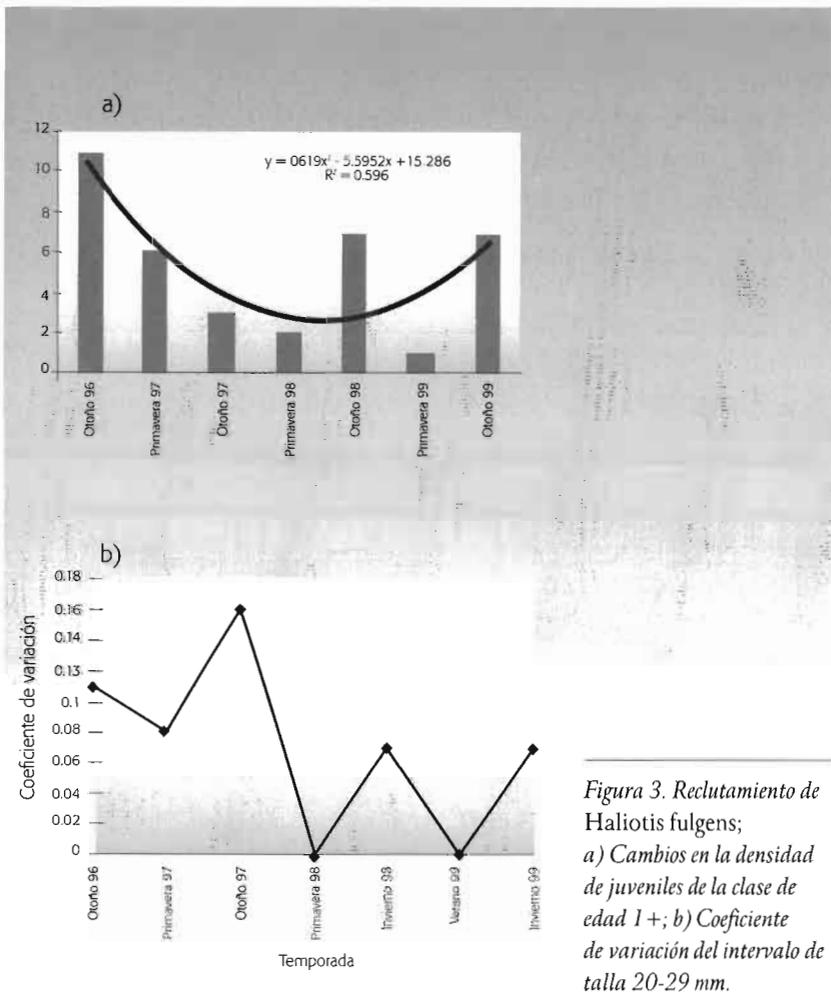


Figura 3. Reclutamiento de *Haliotis fulgens*; a) Cambios en la densidad de juveniles de la clase de edad 1+; b) Coeficiente de variación del intervalo de talla 20-29 mm.

## Langosta

Los datos que aquí se reportan incluyen registros mensuales del asentamiento de larvas y juveniles (organismos de seis a 35 mm de longitud de cabeza) en colectores artificiales, desde 1993 hasta el 2000, lo que nos permite tener una serie de tiempo de 82 meses continuos. En el caso de esta especie tenemos que considerar las consecuencias de El Niño en dos partes: su efecto inmediato sobre la población adulta y el que ejerció sobre la población de juveniles durante el periodo de El Niño y posterior a éste.

En la figura 4 se muestra la serie completa de la tasa de asentamiento y su relación con las anomalías térmicas y las del nivel medio del mar. Se puede observar que entre octubre de 1997 y marzo de 1998 hubo un periodo con gran abundancia de juveniles, con un máximo en febrero de 1998 (33.3 juveniles/colector), es decir, los meses de

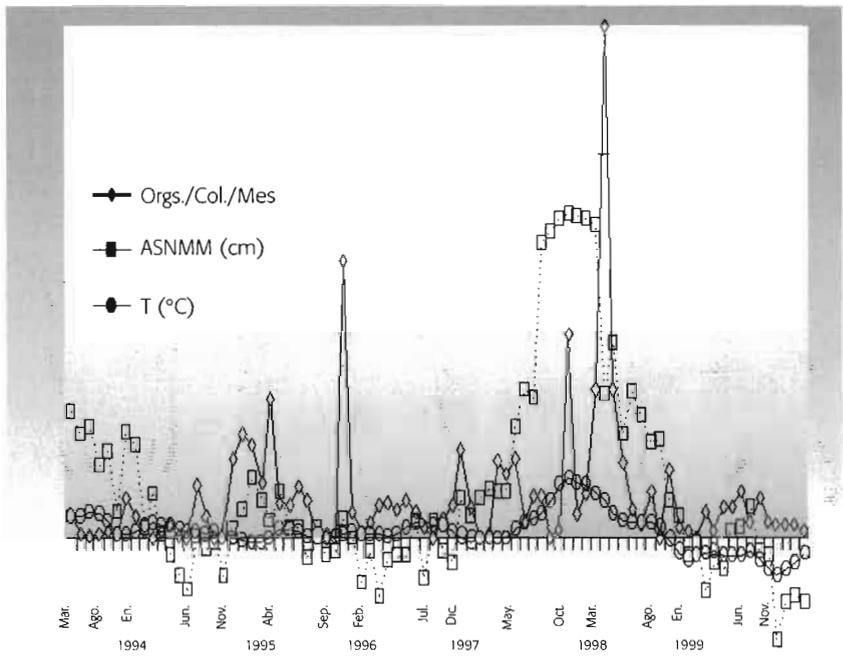


Figura 4. Variación en la densidad de juveniles y adultos de *Macrocyctis pyrifera* y *Eisenia arborea* durante y después de El Niño. Nótese el desfase temporal en la recuperación de los mantos de ambas especies.

efecto más intenso de El Niño (septiembre-diciembre de 1997) y los inmediatos posteriores. Estas abundancias, en su conjunto, evidencian fuertes reclutamientos de juveniles de langosta, lo cual significa que dicha población no se vio disminuida durante el año Niño.

A estos registros sobre la población juvenil habría que agregar que la captura comercial de este crustáceo durante el fenómeno fue de las más altas registradas en Bahía Tortugas, es decir, tampoco hubo efectos negativos sobre la población adulta.

### Macroalgas

En el caso de las algas, tanto el sargazo gigante (*Macrocystis pyrifera*) como la "coliflor" (*Eisenia arborea*) tuvieron una elevada mortalidad en el otoño de 1997. Las dos especies desaparecieron de la superficie y del fondo, quedando sólo restos de coliflor adheridos al sustrato. En la primavera de 1998 esta alga fue la primera en mostrar signos de recuperación con densidades máximas de ocho juveniles/m<sup>2</sup>. El reclutamiento del sargazo gigante fue más tardío, ya que hasta el vera-

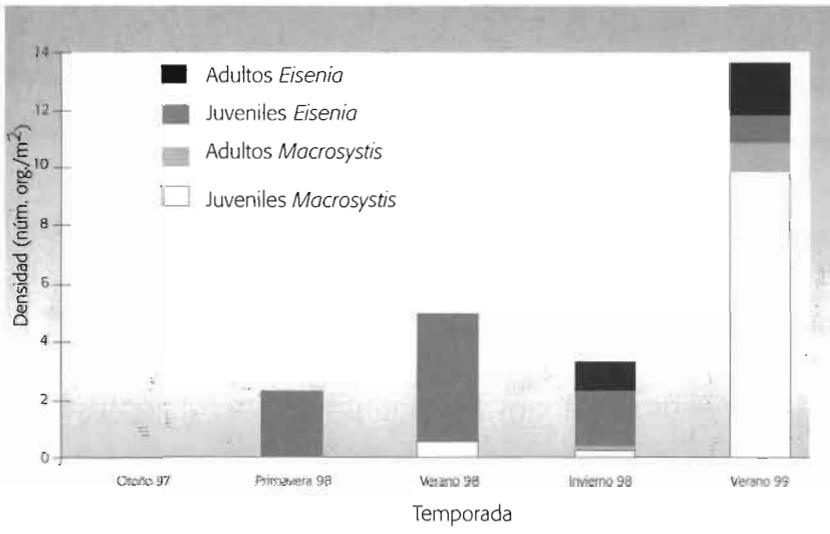


Figura 5. Relación entre la tasa de asentamiento de larvas pueriles y juveniles de langosta roja (*Panulirus interruptus*) (organismos/colector/mes) y las anomalías de la temperatura (T) y el nivel medio del mar (NMM).

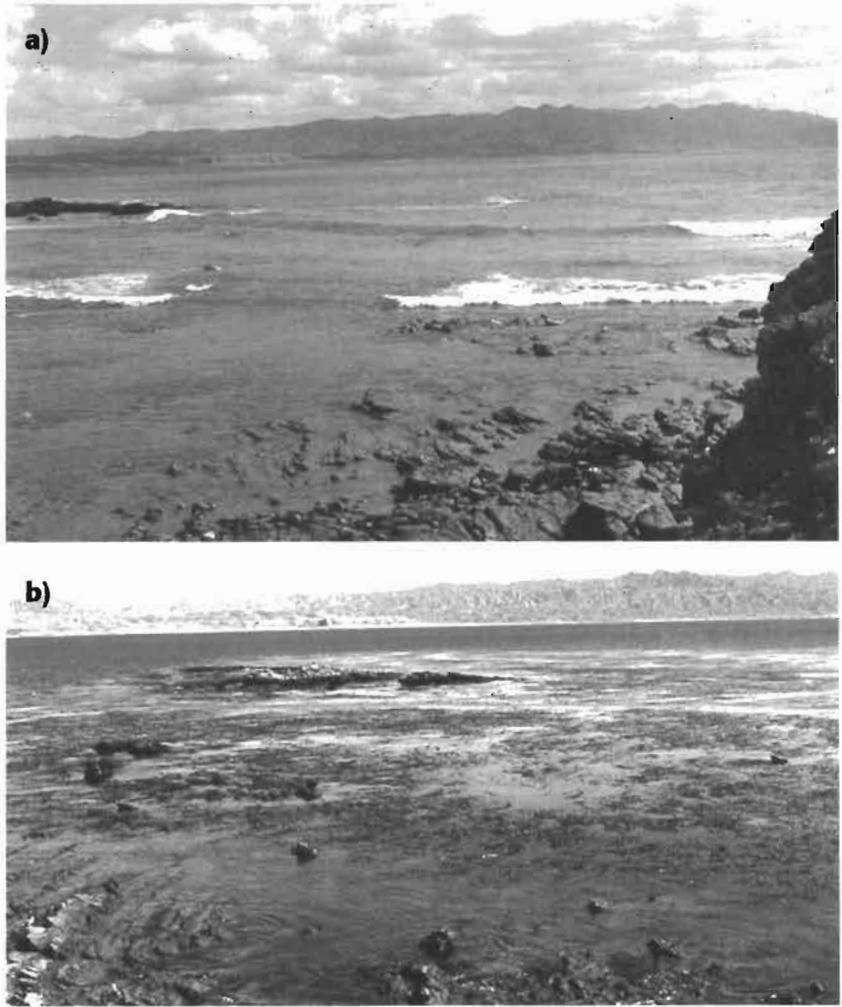


Figura 6. Ensenada de Bahía Almeja. a) Ausencia total de la carpeta vegetal en noviembre de 1997, y b) Recuperación de los mantos de *Macrocystis pyrifera* y *Eisenia arborea* en enero de 1999.

no de 1998 empezaron a aparecer plantas juveniles de esta especie, pero con densidades sumamente bajas ( $0.0075$  juveniles/m<sup>2</sup>); sin embargo, a partir de ese momento y hacia el verano de 1999 la densidad de juveniles se elevó a  $10$  org./m<sup>2</sup> en promedio (figura 5).

Esta rápida recuperación de *Macrocystis* y *Eisenia* se vuelve muy evi-

dente en las fotografías de la figura 6, a) y b), en las que se observa cómo desaparecen los mantos de sargazo durante El Niño y su reaparición una vez pasado el efecto.

## Conclusiones

Aunque el periodo de observación sobre el posible efecto de El Niño en la comunidad bentónica de Bahía Tortugas resultó muy corto (1996-1999), lo cual limita el alcance de las conclusiones, los resultados son indicativos de que las especies de la comunidad de costa rocosa responden de manera diferente al fenómeno. En tanto que en la comunidad algal, los mantos de *Macrocystis* y *Eisenia* mostraron un efecto negativo, llegando incluso a la desaparición; en otros casos, como en el del abulón, el efecto inmediato se hizo sentir en toda la población (adultos y juveniles), disminuyendo sus densidades y afectando su condición fisiológica, pero sin llegar a desaparecer, como originalmente era nuestra hipótesis. Estas poblaciones mostraron signos de recuperación un año después, e incluso la presencia en las rocas de pequeños abulones de 3 a 5 mm, aún en los meses de máxima temperatura, sugiere que los procesos de asentamiento larval de estas especies siguieron ocurriendo a pesar de El Niño, siendo capaces de sobrevivir, aunque sea en pequeñas cantidades, durante el fenómeno mismo.

En el caso de la langosta, es evidente que los efectos de El Niño no tuvieron el mismo impacto deletéreo ocurrido en las otras especies, pues el reclutamiento de poslarvas y juveniles de esta especie mostraron elevadas densidades. Estos resultados nos inclinan a establecer la hipótesis de que las condiciones Niño parecen estimular los mecanismos reproductivos de esta especie, y que bien sea por medio de una mayor fecundidad y/o una mayor sobrevivencia de estadios poslarvales y juveniles, la abundancia del asentamiento es reflejo de fuertes reclutamientos.

En su conjunto, la comunidad bentónica mostró una elevada resiliencia, es decir, una pronta capacidad de recuperación después de un disturbio como el de El Niño. Aunque en lo inmediato el incremento de temperatura afectó la sobrevivencia de las poblaciones bentóni-

cas, particularmente la de las sedentarias o de escasa movilidad, la recuperación de las mismas ocurrió en un tiempo relativamente corto, entre año y año y medio después de que se presentó el fenómeno.

---

### **Reconocimientos**

Este proyecto recibió apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (clave 047PÑ 1297) y del Instituto Politécnico Nacional (CGPI 990310). Los autores agradecen el apoyo del Instituto Nacional de la Pesca por el uso de sus instalaciones en Bahía Tortugas, así como el de la Cooperativa de Producción Pesquera Bahía Tortugas por su apoyo en los trabajos de campo.

---

### **Referencias**

Suplee, C. "El Niño /La Niña, círculo vicioso de la naturaleza", *National Geographic*, 4(3), 1999, pp. 73-95.

---

## EFECTO A DISTANCIA DEL FENÓMENO EL NIÑO

Elva Escobar Briones

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

---

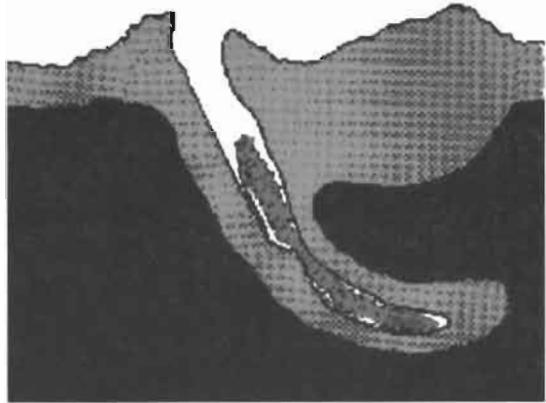
### El vínculo clima-oceáno-biota

**C**uando los organismos marinos viven en ecosistemas ubicados a más de mil m de la superficie del mar, éstos dependen en gran medida del arribo de fuentes alimentarias que llegan de la superficie al fondo, por medio de:

- La floculación de los productores primarios.
- El depósito de heces y esqueletos de organismos de columna de agua.
- El hundimiento de organismos al morir.
- El acarreo lateral de materiales por corrientes de fondo.

El arribo de material exportado de la superficie al fondo depende de la dinámica de las aguas, así como de las condiciones climatológicas que alteren o permitan la elevación de la masa de agua con nutrientes y del subsecuente incremento en la producción primaria que se transfiere en la cadena alimenticia o se agrega y se deposita en el fondo. El viento es el principal promotor de este proceso en los mares tropicales. En el Golfo de México el viento tiene mayor intensidad durante los frentes de invierno, de noviembre a marzo.

*Figura 1a. Vista lateral de la posición en el sedimento y escala de tamaño (barra = 1mm) de un gusano poliqueto de la infauna macrobéntica.*



*Figura 1b. Imagen del gusano en la figura 1a, visto desde la superficie del sedimento.*

Los fondos marinos localizados en los mares tropicales se caracterizan por un arribo ocasional de materia orgánica procedente de la superficie del mar, debido a que el agua superficial es más cálida, menos densa y pobre en nutrientes, y sólo permite el crecimiento de diminutos organismos, haciendo casi imposible que se exporte material a profundidad.

Durante el fenómeno El Niño, el calentamiento superficial en el Pacífico sudoriental afecta la presión atmosférica a distancia, y cual-

quier modificación de las condiciones naturales del clima y de la superficie del agua lejos de donde se desarrolla el fenómeno El Niño se denomina teleconexión. Por consiguiente, los cambios que ocurren durante El Niño en el Golfo de México son considerados como teleconexión del sistema clima-océano y se reflejan en su biología. A diferencia de lo que se ha observado en el Pacífico, el fenómeno El Niño se expresa en el Golfo de México mediante un periodo más extenso de los frentes de invierno, que promueven una producción primaria elevada por un periodo mayor, y gran parte de ella es exportada al fondo. El arribo de la materia orgánica a profundidades mayores a los mil m permite un incremento en la abundancia de la fauna asociada a los fondos. En años no Niño este aumento de organismos en el sedimento es imperceptible, pero en los años Niño la materia orgánica exportada sostiene a la fauna del fondo por periodos de tiempo más prolongados.

El trabajo que se llevó a cabo con apoyo del Conacyt, estudió este cambio de biomasa en la macroinfauna béntica –fauna cuya talla alcanza los 5 mm (figuras 1a y 1b) y está asociada al sedimento de la Sonda de Cam-peche. Para ello, se analizaron los valores obtenidos en campañas previas realizadas en las décadas de los ochenta y los noventa, los cuales se compararon con los de dos campañas oceanográficas llevadas a cabo el año posterior al de El Niño, en marzo y junio de 1998, con la hipótesis de que se notaría un cambio significativo.

---

### **Esos animales pequeñitos**

Todos los componentes de la macroinfauna béntica están conformados por múltiples especies de invertebrados, adaptadas a consumir alimento de talla muy pequeña y a vivir en un gradiente muy marcado de cambios en las concentraciones de oxígeno disuelto, sulfuro de hidrógeno y pH. Estos organismos –no perceptibles para el ojo inexperto– conforman la base alimenticia de grupos taxonómicos de talla mayor, entre los cuales se encuentran peces, cangrejos, camarones y pepinos de mar; asimismo, participan en la transformación de la materia orgánica, convirtiendo en moléculas simples parte de los elemen-



Figura 2. Nucleador de caja en la popa del barco oceanográfico Justo Sierra.

tos de los grandes ciclos, adquiriendo con ello gran relevancia en el nivel global.

### **¿Y qué hizo El Niño?**

El material se recolectó mediante un nucleador de caja (figura 2), que consta de una caja de acero con una pala que baja desde el barco al fondo marino; al tocar fondo, captura lodo con organismos. El barco recupera la muestra que es procesada a su arribo y conservada para su estudio en el laboratorio. De ésta, se extraen submuestras que nos permiten estudiar otros factores, como el contenido de materia orgánica y la talla del grano que compone el sedimento. Al resuspender la muestra de lodo con agua en contenedores, y al pasar esta última con su contenido de organismos por tamices con aberturas de malla de 500, 250 y 125  $\mu\text{m}$ , la macroinfauna se separa del sedimento más fino. Los organismos, que incluyen camaroncitos, cangrejos, gusanos diversos y algunas almejas, son retenidos en los tamices junto con el sedimento. En el laboratorio, el material biológico se separa manualmente, identificando y cuantificando cada grupo taxonómico por medio de microscopios estereoscópicos. Posteriormente, el material se pesa en una balanza analítica, obteniéndose la biomasa por grupo



*Figura 3. Imagen del fondo marino, sobre el cual se observa un erizo de mar y diversas madrigueras de macroinfauna béntica.*

taxonómico, y los ejemplares se almacenan para realizar estudios más detallados. Los datos de abundancia y densidad nos permiten generar cuadros de la composición taxonómica y de su variación espacial y estacional en el gradiente batimétrico. Los valores que se obtuvieron en las campañas de marzo y junio de 1998 nos permitieron observar que la biomasa fue significativamente mayor a la obtenida en años no Niño, pues éstos casi se duplicaron en comparación con los registrados en años anteriores. Otra evidencia del rápido depósito de materia orgánica de origen fotoautotrófico fue la presencia de clorofila *a* en el sedimento superficial (figura 3).

Estos resultados nos conducen a sugerir la existencia de patrones de variación en los grandes periodos de tiempo, en contraste con variaciones estacionales anuales o con las determinadas por los ciclos de vida en la escala de talla de la fauna (meses). Estas variaciones están, al parecer, determinadas por los grandes eventos climáticos que modifican las condiciones de la superficie de los mares.

---

## **Agradecimientos**

Expreso mi reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo a los proyectos Estructura trófica y flujo de energía en las comunidades bentónicas de la plataforma continental del Golfo de México (PCCOX-22989), Comunidades bentónicas del mar profundo en el Golfo de México (0004V-T), y Los efectos de teleconexión del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (1997-1998) sobre la dinámica de la infauna del suroeste del Golfo de México (050PÑ-1297), los cuales permitieron generar una base de datos histórica del suroeste del Golfo de México, que hizo posible realizar la presente interpretación. El apoyo de L. Peralta, A. Salas y L. A. Oseguera en trabajos de campo y de laboratorio resultó invaluable, al igual que el otorgado a lo largo de todos estos años por la tripulación del barco oceanográfico Justo Sierra y de las diversas administraciones del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la Universidad Nacional Autónoma de México.

---

## AGRADECIMIENTOS

**L**os compiladores queremos expresar nuestro agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la visión en apoyar proyectos de investigación que conllevaran a explicar y dar resultados sobre fenómenos que vinculan el clima, el océano y los recursos y se aplican al bienestar de la población en México. Es a raíz de este tipo de apoyos que las entidades federales se apoyan en el conocimiento generado por la investigación básica para la toma de decisiones que permitan prevenir desastres. Esperemos que este tipo de ejercicios sean más frecuentes día con día.

Debe reconocerse el apoyo de cada una de las instituciones de investigación involucradas quienes velaron por el buen desarrollo de los proyectos de sus investigadores que recibieron el financiamiento para la tarea.

El Instituto de Ciencias del Mar y Limnología apoyó con los servicios administrativos y la correspondencia que facilitaron la entrega puntual de manuscritos a revisores y el recibo oportuno de las sugerencias a los autores.

Revisaron las versiones sometidas y dieron valiosas sugerencias

A Gracia, A. de Tomás, A. Gracia, A. Monreal, B. Villa, C. Maurer, C. Robinson, D. Hernández, D. Salas, E. Chávez, E. Escobar, F. Alvarez, F. Zavala, G. De la Lanza, J. Alcocer, L. Bojórquez, L. Pérez, M. Caballero, M. Macek, M. Machain, M. Merino, M. Reguero, P. Cervantes, R. Aguirre, R. Medécigo, R. M. Mateos, S. Czitrom.

Expresamos un agradecimiento especial a la Comisión Especial del Conacyt que evaluó los proyectos y llevó a cabo el seguimiento de los resultados obtenidos de esta empresa multidisciplinaria que resultó inicialmente en el simposio de los Efectos del Fenómeno de “El Niño” en México los días 17 al 19 de mayo del año 2000 y posteriormente en la generación de este volumen, resultado del entusiasmo de los organizadores y ponentes. Durante la elaboración de este volumen se contó por parte de Conacyt con apoyo de M. Bonilla, G. Del Valle, L. Villavicencio, J. Valdés, D. Perló, G. Roqueñí, M. Martínez, R. Arvide, J. Cervantes, T. Vázquez, R. Alarcón y C. Campos.

Se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2001  
en los talleres de Impresora y Encuadernadora Progreso,  
S.A. de C.V.; AV San Lorenzo Tezonco No. 244;  
Col. Paraje San Juan, Iztapalapa; 09830, México D.F.  
El diseño gráfico de portada e interiores y la formación  
estuvieron a cargo de Agustín Azuela de la Cueva.

Los efectos del fenómeno

# El Niño

en México

1997-1998



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología