



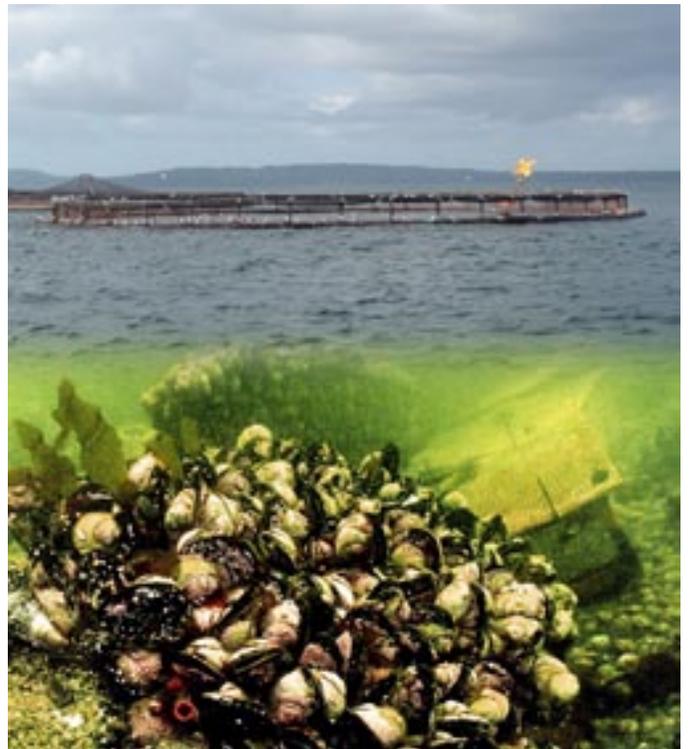
# Marea Roja y Salmonicultura en el Sur de Chile



Documento 14 / Septiembre 2005

**Alejandro Buschmann**  
Biólogo Marino, Doctor en Ecología.

# Marea Roja y Salmonicultura en el Sur de Chile



### Presentación

La actividad humana genera trastornos en el medioambiente y sus consecuencias pueden ser insospechadas. En las últimas décadas, la biodiversidad marina ha enfrentado crueles métodos de extracción pesquera, altos niveles de contaminación y un serio riesgo para su conservación.

Dentro de este preocupante esquema, la acuicultura puede ocasionar serios daños al ecosistema marino, produciendo un alto grado de contaminación, lo que genera a su vez situaciones de relevancia como las floraciones algales marinas (FAN), fenómeno conocido como marea roja.

En el presente documento, se analiza la relación entre este fenómeno y la salmonicultura, enfatizando la necesidad de profundizar la investigación científica al respecto para prevenir los negativos impactos que produce la marea roja a la actividad pesquera, a la salud humana, a la economía y a la flora y fauna marina.

En Chile, se han detectado niveles tóxicos de veneno paralizante de marisco (VPM) y veneno diarreico de marisco (VDM) en las regiones del sur de Chile. Estos casos de contaminación pueden tener orígenes naturales, pero también pueden ser causados por la acuicultura y por otras actividades humanas.

Por lo mismo, se requiere de inversiones en el campo de la ciencia y la tecnología que permitan generar evidencia para controlar y prevenir las floraciones algales nocivas.

Además, se deben considerar las variables medioambientales que rodean la acuicultura, en especial en el sur de Chile, donde existen zonas proclives a presentar procesos de eutroficación y de marea roja. Dentro de las actividades a considerar se encuentran la salmonicultura, las emisiones urbanas, forestales y agrícolas, entre otras.

Nuestro país es el segundo productor de salmón a nivel mundial, pero los recursos destinados a la investigación científica de la salmonicultura son mínimos, lo que evidencia una grave situación de desconocimiento de sus consecuencias nocivas, como podría ser la generación de marea roja. Para revertir esta tendencia, es necesario comprender la complejidad de este fenómeno en toda su magnitud.

Marcel Claude  
Director Ejecutivo, Fundación Oceana

### Eutroficación y Mareas Rojas

Los efectos ambientales sobre las zonas costeras son muy profundos a nivel global (Vitousek et al. 1997). Entre ellos, las floraciones de algas nocivas (FAN) (fenómenos conocidos como mareas rojas) han aumentado a lo largo de los años, provocando enfermedades a los seres humanos y daños a la flora y fauna marina. Estas floraciones tienen origen natural o antropogénico y hoy se están desarrollando intensas campañas de monitoreo, métodos de detección temprana, modelos predictivos e investigación para intentar mitigar sus efectos. No obstante, en Chile estos esfuerzos son relativamente bajos y requieren su fortalecimiento, toda vez que es un problema de primera importancia para el desarrollo costero de nuestro país y, muy especialmente, en la X y XI regiones.

Los FAN ocurren naturalmente debido a procesos de surgencias, como el caso de *Alexandrium*, *Pseudo-nitzschia*, *Gymnodinium*; corrientes, en el caso de *Trichodesmium*; formaciones de plumas de micronutrientes inducidas por lluvias, como sucede con *Chrysochromulina*; fenómeno del Niño, para *Mesodinium* *Noctiluca* y sistemas frontales, como para *Nodularia* y *Aphaenizomenon*, entre otros. En la mayor parte de estos fenómenos se observan condiciones hidrográficas claves de advección, subducción entre algunas de las aguas junto con una introducción de nutrientes (nitrógeno, fósforo, principalmente, y sílice en el caso de diatomeas). Las floraciones pueden también deberse a la introducción antrópica de los nutrientes. Con posterioridad a la Segunda Guerra Mundial, el desarrollo industrial alcanzado en Europa aumentó la carga de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y se alcanzaron valores máximos de fitoplancton, con la aparición de

*Phaeocystis* en el mar del Norte. En la desembocadura del río Mississipi ha aumentado *Pseudo-nitzschia*, debido a un incremento de nitratos. En Carolina del Norte se ha incrementado seis veces la abundancia de *Pfisteria*. Así, existen muchos otros ejemplos de análisis que señalan que las actividades humanas parecen tener relevantes efectos sobre eutroficación y aumento de mareas rojas (ver TABLA 1), explicando con ello el aumento de la frecuencia y la intensidad que estos fenómenos están teniendo a nivel mundial.

De las aproximadamente 5.000 especies de microalgas descritas, alrededor de 300 especies pueden proliferar, causando algún tipo de nocividad y, de estas, sólo unas 80 tienen la capacidad de producir potentes toxinas (Hallegraeff, 2003). Entre estos organismos se encuentran algunas especies de diatomeas, de cianobacterias y, fundamentalmente, de dinoflagelados (Hallegraeff et al., 2003). En Chile, en las últimas décadas se han detectado niveles tóxicos de veneno paralizante de marisco (VPM) y veneno diarreico de marisco (VDM) en las regiones del sur de Chile, determinándose a *Alexandrium catenella* y



**Tabla 1** Efectos sobre eutroficación y aumento de mareas rojas

Especie	Observación (causas) FAN	Lugar	Referencia
Alexandrium	acentuación de la dispersión geográfica debido al transporte de quistes.	Europa Norte América Japón Sudeste Asiático Sud américa Mediterráneo	Hallegraf, 2003 Villa et al 2001 Molinet et al 2003 Córdova et al, 2003 Sebastián, 2005 Smayda, 1990
(FAN)	aumento concentraciones de N y P aumento concentraciones de N y P	Bahía Tolo- Hong Kong Japón	Lamy Ho, 1989 Okaichi, 1989
Phaeocystis	carga de nutrientes	Mardel Norte	Rousseau et al, 2002
(FAN) ciano-bacterias	carga de nutrientes	Costas y Bahías de Brasil	Ferrao-Filho et al, 2002
Pseudo-nitzschia	aumento de nitratos	Costa de Louisiana	Parsons et al, 2002 Turner y Rabalais, 1991
Pseudo-nitzschia	aumento concentraciones de N y P	California	Kudela et al, 2002
Pfisteria	aumento concentraciones de N y P	Carolina del norte	Burkholder & Glasgow, 1997
(FAN)	aumento concentraciones de N y P	Adriatico Norte Mar Negro	Bodeman, 1993 Moncheva et al, 2001
Nodularia	aumento concentraciones de N y P	Australia	Lukatelich & McComb, 1986
(FAN)	aumento concentraciones de N/P y P/Si		Anderson et al, 1997
(FAN)	aumento concentraciones de N y P		Trell et al, 1997

*Dinophysis acuta* como las principales especies tóxicas de dinoflagelados involucradas (Uribe et al., 1999; Suárez-Isla & Guzmán, 1999). La primera intoxicación con VPM fue detectada en la Región de Magallanes en 1972, y la primera con VDM en el estuario de Reloncaví en 1970. Las floraciones algales asociadas a estos dos tipos de intoxicaciones han causado los mayores impactos económicos y en la salud humana. Entre 1972 y el año 2000 se habían registrado 387 personas intoxicadas por VPM, incluyendo 26 casos fatales. A estos se deben sumar los más de 50 intoxicados, con una víctima fatal, registrados

durante la floración de *Alexandrium catenella* que afectó el mar interior de Chiloé durante el año 2002. Hasta la fecha, en esta misma región se habían registrado 480 intoxicaciones por VDM (de los años 1970 y 1979). Estas pudieron haber aumentado durante el verano del presente año, debido al nuevo episodio de toxina por sobre los niveles permitidos en la zona del estuario de Reloncaví que generaron el cierre del área. No obstante, este evento ocurrió de manera concomitante con las intoxicaciones debidas a la presencia de *Vibrio parahaemolyticus* en la misma área.

Junto con las observaciones anteriores, a partir de 1997 se suma la presencia de una nueva toxina, el ácido domoico. Esta toxina, causante del veneno amnésico de marisco (VAM), ha sido detectada en las regiones de Atacama y Coquimbo en el norte del país y en las costas de Chiloé, en el sur, siendo asociada a las floraciones de *Pseudonitzschia spp.* (Suárez-Isla et al., 2002). Aunque el VAM no ha causado intoxicaciones humanas, también constituye una amenaza potencial a la salud pública y a la economía local.



La literatura científica en esta materia es esencialmente descriptiva para la zona de mares interiores de Chile y está pobremente asociada a estudios oceanográficos, salvo el estudio de Molinet et al. (2003). Es por ello que no se tienen antecedentes sobre distintos fenómenos naturales descritos anteriormente y que afectan la frecuencia, intensidad y distribución geográfica de FAN, así como tampoco de posibles efectos sinérgicos con factores antropogénicos que pudiesen estar interactuando.

No obstante, existen análisis de las concentraciones de nutrientes presentes en la costa de Chiloé que muestran altos valores de nitrógeno, que además aumentan en las cercanías de las balsas-jaula utilizadas para el cultivo de los salmonídeos (Buschmann & Fortt, 2005). La presente información plantea la necesidad de establecer la relación de fuentes antropogénicas de nitrógeno a los canales y fiordos del sur de Chile y los actuales FAN. Al menos tres elementos deben ser estudiados para establecer la importancia relativa del origen de nitrógeno producido por el hombre: establecimientos urbanos, transporte

Jaula de salmones en Chiloé

por erosión de nutrientes exacerbado por procesos de deforestación y la agricultura, y uso de fertilizantes.

La literatura al respecto nos permite inferir la importancia que en el sur de Chile, zona geográfica relativamente poco poblada, tienen las causas anteriormente señaladas. Se ha determinado que la actividad de la salmonicultura existente en el año 1995, era aproximadamente equivalente a los desechos orgánicos producidos por una población de 2 a 3 millones de habitantes (Buschmann et al., 1996). En concordancia al crecimiento que ha tenido la salmonicultura y la mitilicultura en los últimos años en el sur de Chile, es fácilmente extrapolable, que los desechos de estas actividades superen a una población de 6 millones de habitantes. En canales del sur de Chile, poco poblados con una agricultura extensiva y procesos de deforestación, se ha determinado que la concentración de amonio puede variar entre 0,002 y 0,010 mg/L, en tanto que donde existe una acuicultura intensiva de mitílidos y salmones la concentración de amonio varía entre 0,015 y 0,026 mg/L (Buschmann et al., enviado). En lugares prístinos,

las concentraciones de amonio deberían estar desde un rasgo no detectable hasta 0,01 mg/L. En consecuencia, estamos frente a una situación a equivalente que la mitad de la población de Chile está vertiendo sus desechos en la zona norte de los canales y fiordos del sur de Chile. Por ello, no podemos descartar a priori la hipótesis que indica que esta actividad, la acuicultura, junto con otras actividades humanas, puede tener un importante efecto sobre procesos de eutrofización e indirectamente sobre la presencia de FANs en el sur de Chile.

Estudios experimentales han demostrado que macroalgas pueden captar nutrientes liberados por salmones en cultivo en el sur de Chile (Troell et al., 1997) y moluscos filtradores pueden aprovechar material orgánico particulado de salmones (Buschmann et al., 2001). Además, los efluentes de peces pueden alterar la composición de la microflora disminuyendo la abundancia de diatomeas en favor de la dominancia de dinoflagelados (Buschmann et al.). Sin embargo, experimentos de laboratorio, a pequeña escala, no han demostrado que los salmonídeos no estimulan la tasa de crecimiento de *A. catenella* (Arzul et al., 2001).

El uso de técnicas de muestreo complejas, donde se establecen mediciones antes y después del impacto ambiental, así como en áreas controles sin impacto y áreas impactadas en un modelo factorial desbalanceado (ver Underwood, 1997), ha permitido determinar que la abundancia de ciertos dinoflagelados pueden aumentar en pulsos, cuando se encuentran cercanos a balsas-jaula de salmones (Vergara, 2001). Parece ser que en nuestro país, existen relaciones entre procesos de eutrofización y mareas rojas tal y como ha sido descrito en otras zonas del planeta y es evidente que dada su importancia económica, social y de conservación, esta situación debiera ser estudiada en toda su complejidad.

Como ya se mencionó, Chile necesita estudiar las problemáticas ambientales asociadas a los procesos de eutrofización y mareas rojas, entre otros tantos. Además diferentes tipos de cultivo (salmones, chorito, ostiones y abalones) podrían estar potenciando sus efectos, pero hasta ahora sólo se han manejado como una interacción neutra, aspecto que requiere ser estudiado. Para ello, se deberá presentar una estrategia de acción que permita entregar luces sobre cómo enfrentar el problema. Sin embargo, debemos ser conscientes y consecuentes reconociendo que no existirán soluciones reales y concretas mientras no exista una inversión real sobre este grave y progresivo problema medioambiental, social y económico. Chile ha desarrollado su acuicultura basado en la importación de tecnologías y "Know-How", pero con muy baja inversión en ciencia y tecnología propia. La productividad científica asociada a la salmonicultura chilena es sólo un 2% de la producción mundial de ciencia, tecnología y conocimiento, lo que contrasta con que Chile



sea el segundo productor mundial. Lamentablemente, no podremos importar conocimiento para el problema de los FAN en el sur de Chile. Las causas son endémicas a nuestros pobremente estudiados ecosistemas.

Hoy en día, en Chile, existen cinco proyectos financiados por el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF) y por la Corporación de Fomento (CORFO) para investigar sobre FAN. Estos estudios abarcan la problemáticas sobre tecnología de información y capacitación local para apoyar la toma de decisiones sanitarias, investigación y monitoreo de toxinas fitoplancton nocivo, desarrollo de herramientas inmunológicas para la detección rápida de toxinas y precursores biogeoquímicos de floraciones algales y genéticas de *Alexandrium catenella* en Chile. Sólo el proyecto, ejecutado por la Universidad de Concepción, enfoca el problema de las mareas rojas relacionado con la disponibilidad de nutrientes en el medio. Es más que evidente que con estos niveles de inversión jamás resolveremos este conflictivo problema en el sur de Chile. Requerimos de un programa de investigación, continuo en el tiempo, multidisciplinario y liderado por alguna autoridad científica que dé cuenta de la complejidad de los estudios de eutroficación y mareas rojas en la zona de los canales del sur de Chile.

¿Qué necesita Chile para constituir una base de información suficiente que le permita manejar los problemas de mareas rojas en el futuro? Los sistemas de instrumentación óptica para proveer de una rápida cobertura de FAN son técnicamente accesibles. Este tipo

de instrumentación provee de un sistema automatizado de detección y pronóstico (Sellner et al., 2003). El sistema utiliza sensores remotos y boyas in situ con capacidades muy promisorias para proveer observaciones en tiempo real sobre variables ecológicas relevantes, a diferentes escalas tanto espaciales como temporales. Estos métodos



Cultivo de choritos en Cochamó

de asimilación de datos fusionan redes observacionales con modelos ópticos. Esta fusión provee de capacidad para la detección y pronóstico. Ciertos avances en la investigación de FAN, han logrado sobrepasar estos métodos previamente descritos, existiendo actualmente modelos biológicos, muy bien desarrollados, que permiten recrear la distribución de los FAN en diversos y variados tipos de ambiente. Pese a esto, tenemos que reconocer el limitado conocimiento de corrientes y patrones de circulación que se tiene de nuestros mares interiores. Si bien ha existido cierto interés por parte del programa CIMAR Fiordos, es evidente que el desarrollo de toda una actividad productiva de tal envergadura no se puede basar y perpetuar, en forma sustentable, con escaso nivel de conocimientos que se tiene en la actualidad.

Existen otros modelos (ver Sellner et al., 2003) de gran interés que permiten estudiar el desarrollo de FAN, por ejemplo, los del Instituto Oceanográfico de Woods Hole. Otros casos son los modelos biofísicos tridimensionales desarrollados en Florida y el desarrollo de modelos basados en el conocimiento de los vientos y su inducción de FAN en Irlanda. Estos ejemplos muestran que estas problemáticas se pueden enfrentar, pero siempre bajo el alero de un desarrollo previo de la ciencia y el conocimiento de las peculiaridades de nuestros mares. Estamos frente a una grave situación que sólo se ha tratado de resolver con parches mal puestos y caedizos. Chile ha invertido en

interesantes proyectos de ciencia básica y de tecnologías para la detección rápida de las toxinas. Sin embargo, a nuestro parecer, se ha olvidado un aspecto fundamental, determinar porqué se están originando y expandiendo estos fenómenos en el sur de nuestro país. El trabajo de Molinet et al. (2003) muestra que, para poder avanzar en el conocimiento de FAN, necesitamos conocimientos oceanográficos y meteorológicos sobre el transporte de los cistos y de las condiciones que promueven su germinación y así poseer alguna capacidad de pronóstico. Dado este primer paso podremos enfrentar el problema utilizando nuestros propios modelos predictivos.

### Conclusiones y Recomendaciones

La literatura científica es clara en este tema (Anderson et al., 2002; Smayda 2002). En el pasado, procesos oceanográficos, biológicos y físico-químicos, condicionaron la abundancia de floraciones de microalgas.

Sin embargo, el aumento de su frecuencia e intensidad durante las últimas décadas señalan directamente hacia diversos procesos antropogénicos que están potenciando la aparición de FAN a lo largo de todo el planeta, y no menos en Chile. A pesar de esto, aún en nuestro país estamos en una etapa descriptiva en cuanto al conocimiento que hemos adquirido sobre estos eventos y muy poco se ha realizado en cuanto a estudios dinámicos sobre floraciones de microalgas y las causas desencadenantes de tales procesos.

Urge la necesidad de estudiar, minuciosamente y concienzudamente, los actuales procesos de eutroficación de los canales y fiordos del sur de Chile y precisar sus efectos sobre la aparición de FAN en esta zona geográfica.

En este contexto, las actividades humanas como las emisiones urbanas, forestales, agrícolas y de acuicultura deberán estar en el centro de la discusión. Por su actual dimensión y su tremendo potencial de crecimiento futuro, la acuicultura parece ser una de las actividades que debe ser incluida. Se ha descrito el potencial rol que el cultivo de especies de alto nivel trófico pueden tener sobre el medio ambiente (Folke et al., 1999) y el tremendo significado en su aporte al medio ambiente de nitrógeno y fósforo. Sin embargo, un estudio no será nunca completo si no se incluyen otros elementos como los indicados (deforestación, descargas urbanas y agrícolas).

La disponibilidad de nitrógeno es un factor clave en la productividad de estuarios y sectores costeros. La comunidad fitoplanctónica está determinada por el tipo de nitrógeno existente y para comprender la formación de un FAN se debe entender la relación entre la actividad microbiana y los ciclos de nitrógeno. Aún cuando los estudios no son concluyentes sugieren una relación entre biodiversidad, eutroficación y, por ende, formación de FANs.

Se plantea la hipótesis que señala que la acuicultura, junto a otras actividades humanas, pueden tener un efecto directo sobre la eutroficación de las zonas costeras e, indirectamente, un efecto sobre la formación de FANs en el sur de Chile, debido a las altas concentraciones de nitrógeno en forma de amonio que estas generan. Esta hipótesis debe ser respaldada con la suficiente investigación a la cual no se ha enfocado la inversión necesaria, pues aún cuando nuestro país es el segundo productor mundial de salmónes, la ciencia para salmonicultura es de un 2% del total de la investigación mundial.

Por lo mismo, se recomienda iniciar un programa donde se realicen estudios integrales y dinámicos de FAN y las causas (eutroficación, como un eje prioritario) que desencadenan dichos procesos, apuntando hacia las emisiones antropogénicas de carga contaminante.

Además, es necesario incluir un modelo de desarrollo sustentable de la acuicultura por ejemplo por medio de un sistema de cultivos integrados, donde el balance de la entrada de desechos al mar esté equilibrado con su salida.

## Referencias Bibliográficas

Anderson DM, PM Glibert & JM Burkholder 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences 25: 704-726

Arzul G, M Seguel & A Clement 2001. Effect of marine animal excretions on differential growth of phytoplankton species. ICES Journal of Marine Science, 58: 386-390.

Buschmann AH, DA López & A Medina 1996. A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile. Aquacul. Eng., 15: 397-421.

Buschmann A, D López, ML González, L Filún, G Aroca & M Cifuentes 2001. Manejo Sustentable de los recursos marinos bentónicos en Chile Centro Sur. Sub proyecto policultivos. Síntesis Histórica y Logros Académicos. (Eds. Faranda, R Frache, R Albertini y JA Correa) Pontificia Universidad Católica de Chile. 335 pp.

Buschmann AH & A Fortt 2005. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y las alternativas para un desarrollo sustentable. Ambiente y Desarrollo.

Folke C, N Kautsky & M Troell 1997. Salmon farming in context: response to Black et al. J Environ Manage 50: 95-103.

Hallegraeff GM 2003. Harmful algal blooms: A global overview. In Manual on Harmful marine Microalgae, G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson and A.D Cembella eds, UNESCO. Paris, France. pp 25-49.

Molinet C, A Lafon, G Lembeye & C Moreno 2003. Patrones de distribución espacial y temporal de floraciones de *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech 1985, en aguas interiores de la Patagonia noroccidental de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76:681-698.

Sellner KG, GJ Doucette & GJ Kirkpatrick 2003. Harmful algal blooms: causes, impacts and detection. J. Ind. Microbiol Biotechnol. 30: 383-409.

Smayda TJ 2002. Adaptive ecology, growth strategies and the global bloom expansion of dinoflagellates. J. Oceanogr. 58: 281-294.

Troell M, C Halling, A Nilsson, A Buschmann, N Kautsky & I Kautsky 1997. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. Aquaculture 156:45-61

Troell M, P Rönnbäck, C Halling, N Kautsky & A Buschmann 1999. Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. J. Appl. Phycol., 11: 89-97.

Troell M, C Halling, A Neori, T Chopin, AH Buschmann, N Kautsky & C Yarish 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture*, 226:69-90.

Underwood AJ 1997. *Experiments in ecology. The logical design and interpretation using analysis of variance.* Cambridge University Press 504 pp.

Uribe, P, BA Suárez-Isla & RT Espejo 1999. Ribosomal RNA heterogeneity and identification of toxic dinoflagellate cultures by heteroduplex mobility assay. *J. Phycol* 35 (4) : 884-888.

Vitousek PM, HA Mooney, J Lubchenco & JM Melillo 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.

## Glosario

**Surgencia costera:** Afloramiento de las capas de agua submarinas hacia la superficie en regiones orientales de los océanos en las zonas de convección, trayendo consigo una rica carga de sedimentos y nutrientes que permite una irrupción poblacional en los animales que se alimentan de ellos.

**Dinoflagelados:** Organismos protozoos de pequeño tamaño (<0.1 mm) que en su mayoría, además de realizar fotosíntesis, son capaces de desplazarse en el agua y pueden originar las "mareas rojas"

**Picnoclina:** Gradiente fuerte o discontinua de densidad de una masa de fluidos a otra. Se caracteriza porque la variación es drástica.

**Termoclina:** Capa del océano donde la temperatura disminuye muy bruscamente con la profundidad

**Nutriclina:** Capa del océano donde los nutrientes que promueven la producción primaria, principalmente nitrato, disminuyen bruscamente con la profundidad

**Oxiclina:** Capa del océano donde el oxígeno disminuye bruscamente con la profundidad

**Zona eufótica:** Capa superficial del agua que llega hasta la profundidad de penetración de la luz, en donde la producción fotosintética iguala a la respiración

**Advección:** Transporte horizontal de partículas que puede estar relacionado a un régimen de corriente

**Subducción:** Mecanismo por el cual una placa se desplaza debajo de otra hacia el interior de la Tierra, o también por medio del cual la litosfera oceánica se sumerge en el manto por debajo de la litosfera continental



**OCEANA.**

Oficina para América del Sur y Antártica  
Avenida General Bustamante 24, Piso 2C  
Providencia, Santiago, Chile  
Tel: 56.4.4270970 Fax: 56.2.4270955  
[www.oceana.org](http://www.oceana.org)