

## Cambio climático global a larga escala: ¿Qué información nos entregan los sedimentos marinos del Pacífico Sur-Oriental?

Carina B. Lange, Depto. Oceanografía y Centro Oceanográfico COPAS, Universidad de Concepción.

Los estudios de los registros sedimentarios marinos frente a Chile central y sur, demuestran que los cambios en la productividad oceánica del pasado (**paleoproductividad**) y en la temperatura superficial del mar del pasado (**paleotemperatura**) durante los últimos ~60.000 años y desde el Último Máximo Glacial (hace aproximadamente 20.000 años antes del presente) al presente, estuvieron asociados a la migración latitudinal (hacia el norte y hacia el sur) de los Vientos de la Deriva del Oeste y la corriente marina de Deriva del Oeste, la cual es generada por este tren de vientos y se traslada hacia la costa occidental de Sudamérica. Por ejemplo, las reconstrucciones climáticas basadas en archivos marinos y continentales, asumen un desplazamiento de los Vientos del Oeste hacia el Norte de unos 5 grados de latitud durante el Último Máximo Glacial.

Estos estudios han llevado a la conclusión que dichos cambios en paleoproductividad y paleotemperatura frente a Chile central y sur, están forzados desde las altas latitudes, o sea desde la zona Antártica. Registros sedimentarios marinos del norte de Chile, a su vez, muestran un forzamiento desde los trópicos. Durante los últimos 100.000 años, la productividad primaria marina en el **ecosistema de surgencia** (afloramiento de agua sub-superficial) del norte de Chile, ha variado con el ciclo orbital de la precesión (influencia astronómica con periodicidad de 23.000 y 19.000 años) y en relación al ingreso de hierro desde el continente, proporcionando evidencia de limitación por hierro en la productividad del pasado.

Los cambios faunísticos en **foraminíferos planctónicos** (organismos que desarrollan su

ciclo vital en la columna de agua) y en la señal de los isótopos estables del nitrógeno en sedimentos marinos frente a Perú y Chile (entre 11° y 37°S), indican cambios regionales importantes en las condiciones sub-superficiales del Sistema de la Corriente de Humboldt (corriente oceánica fría que fluye en dirección norte a lo largo de la costa occidental de Sudamérica) durante la Deglaciación (17.500 años antes del presente). Estos cambios incluyen: **(1)** Una intensificación dramática de la **Zona de Mínima Oxígeno** (ZMO, es una zona donde la concentración de oxígeno es mínima) al comienzo de la Deglaciación, **(2)** Un incremento abrupto en la **desnitrificación** (proceso biogeoquímico del ciclo del nitrógeno), al parecer independiente de la productividad marina local, y **(3)** Una paleoproductividad más elevada desde aproximadamente 14.000 años atrás hacia el presente en Chile centro-sur (35°-37°S), mientras que este patrón está invertido en la zona centro-norte (a 33°S y hacia el norte) donde la surgencia y la productividad marina se incrementaron durante el Último Máximo Glacial.

**Las principales sugerencias y lecciones a nivel país de este trabajo son:**

Estudiar y entender los cambios climáticos y oceanográficos del pasado es crucial para: **(1)** Modelar las posibles consecuencias de cambios climáticos del futuro, y **(2)** Entender las interconexiones entre el hemisferio norte y sur. Para ello, es necesario coleccionar y disponer de registros largos de sedimentos marinos que cubran cientos de miles de años, en especial del Pacífico Sur-Oriental, una vasta, remota y poco conocida pero climáticamente importante región del planeta.

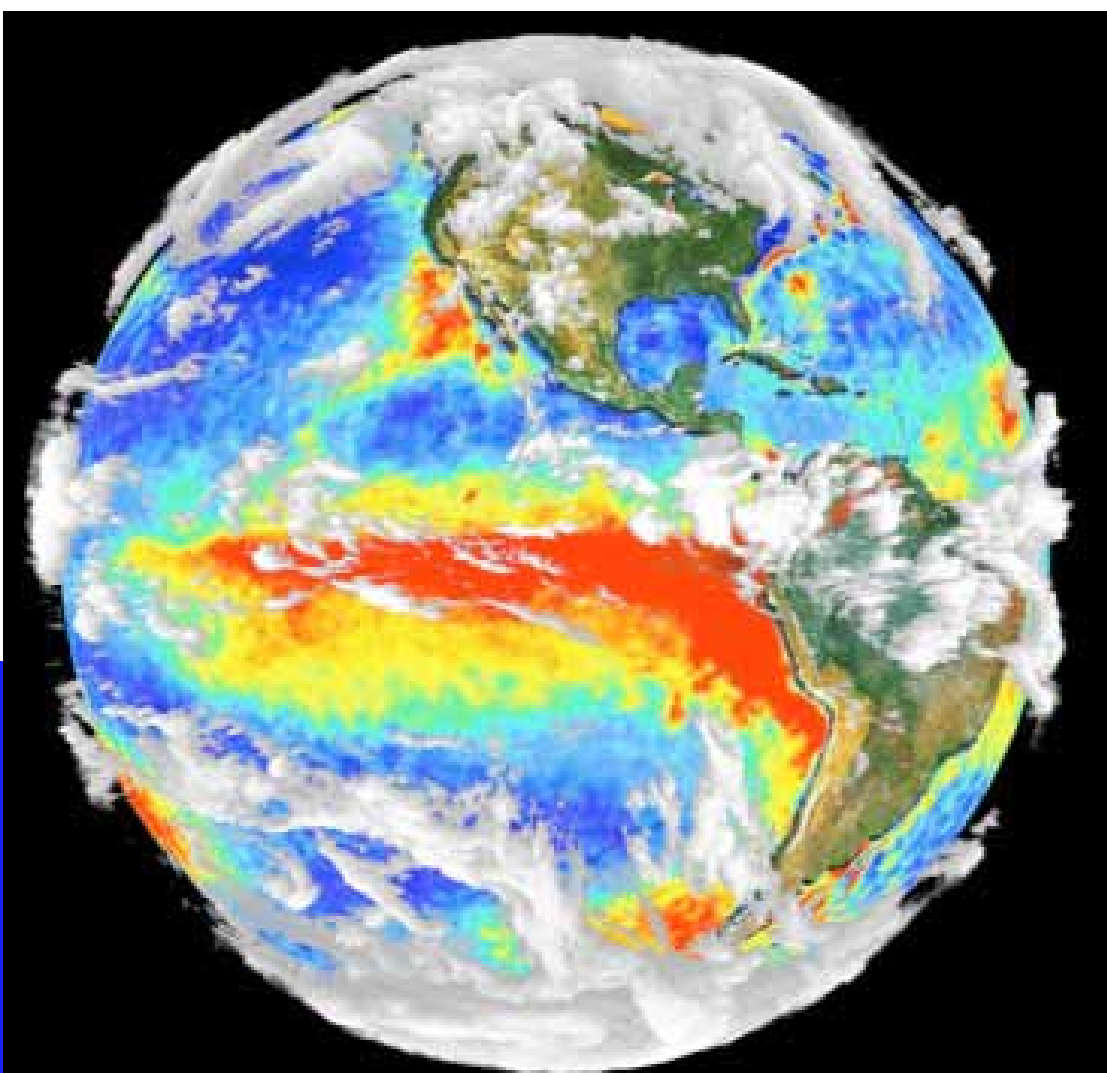
Contacto: clange@udec.cl

## El Pacífico Sur-Oriental:

Características resaltantes

- Fluctuaciones ENSO (El Niño) y PDO (Pacific Decadal Oscillation)
- Alta y persistente surgencia (upwelling) costera y elevada productividad primaria/ secundaria (20% de todas las pesquerías mundiales)
- Zonas de Mínima de Oxígeno
- Cambios Globales: Pesquerías y Ecosistemas
- El Pacífico Sur Oriental como un Laboratorio Natural de Cambio Climático

Pacífico Sur-Oriental



## Cambio climático global: Hipoxia, mortandades y varazones en la costa de Chile

<sup>1,2</sup>Renato Quiñones, <sup>1</sup>Eduardo Hernández & <sup>3</sup>Juan Carlos Castilla

<sup>(1)</sup>Programa de Investigación Marina de Excelencia (PIMEX).

<sup>(2)</sup>Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental (COPAS), Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile.

<sup>(3)</sup>Departamento de Ecología & Centro de Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad (CASEB), Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago, Chile

Las zonas hipóxicas (con bajo oxígeno) en la costa y sobre la plataforma continental de los océanos, se han incrementado a nivel mundial en los últimos 100 años a una tasa de 5.54% al año, debido a las actividades del hombre (eutroficación) y a factores forzantes físicos asociados al cambio climático global. La intrusión de aguas con bajo contenido de oxígeno en la zona costera puede ser altamente nociva para muchos organismos marinos e incluso producir mortandades masivas. Las costas de Chile se caracterizan por presentar de manera natural, aguas subsuperficiales con muy bajo contenido de oxígeno (Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales; AESS) que conforman, desde el ecuador hasta la zona centro-sur de Chile, una de las tres zonas de mínima de oxígeno (ZMO) más importantes del mundo. A lo largo de la costa chilena, es usual la ocurrencia de surgencia costera debido a la orientación de la costa y al régimen de vientos, donde predominan los del Sur y Sur-Oeste. La surgencia genera un ascenso hacia la superficie de AESS, las cuales son frías, salinas, ricas en nutrientes y pobres en oxígeno disuelto. Las surgencias costeras son claves para mantener la productividad biológica (ej. pesquerías) de las costas de Chile; sin embargo, si estas aguas con bajo contenido de oxígeno permanecen atrapadas por varios días en una determinada zona, pueden llegar a producir mortandades y varazones. Esto es exactamente lo que ocurrió en la primera semana de enero de 2008, cuando la zona costera de Chile central fue afectada por un intenso y prolongado evento de surgencia costera. En el caso particular de Bahía Coliumo, la entrada de AESS generó severas condiciones hipóxicas en toda la columna de agua ( $\leq 0.5 \text{ mlO}_2\text{-l}^{-1}$ ). Una mortandad masiva de organismos marinos tuvo lugar en Bahía Coliumo al tercer día de este evento de surgencia afectando zooplancton, peces, crustáceos y moluscos. Las concentraciones de oxígeno disuelto retornaron a niveles normales una semana después. A pesar de lo severo del evento hipóxico y la gran mortandad observada, las

comunidades biológicas comenzaron a recuperarse rápidamente (aprox. 3 meses) demostrando una gran resiliencia. Por otra parte, un análisis histórico de varazones demuestra que éstas han ocurrido desde hace más de 200 años en la zona central y centro-centro sur de Chile, cuando la presión antropogénica sobre el ecosistema marino era mínima en comparación con los niveles actuales. Las varazones son eventos recurrentes y bastante usuales en Bahía Coliumo, Golfo de Arauco y Bahía Concepción. La jibia es la especie más frecuentemente varada en la VIII Región y, en menor grado, merluza común y sardina. En la V y VII Región las varazones incluyen sardina, jurel, merluza común y en menor grado, jibias y otros peces. Las causas de la gran mayoría de estas varazones permanece desconocida, pero es altamente probable que un número importante de las mismas, esté vinculado a eventos hipóxicos costeros.

**Las principales sugerencias y lecciones a nivel país de este trabajo son:** **(1)** Es necesario focalizar más investigación científica en la dinámica de intrusión de aguas con bajo contenido de oxígeno en las zonas costeras por su importancia para la sustentabilidad de especies comerciales y para la viabilidad de la acuicultura de pequeña escala en áreas de manejo; esta información debe incorporarse en el análisis de las selecciones de áreas óptimas para la acuicultura de pequeña escala; **(2)** Las varazones en su gran mayoría corresponden a eventos naturales de los cuales existen registros en Chile a partir del siglo XVIII. Sin embargo, sólo en muy pocos casos se ha establecido científicamente la causa de la varazón. La comprensión de la causalidad de estos eventos es crucial para determinar si incrementos en la frecuencia y/o intensidad de los mismos en el futuro están vinculados al cambio climático global.

Contacto: rquinone@udec.cl

• Coliumo, "Playa El Morro", Bahía de Concepción, Chile (Febrero, 10, 2006). ... 70 tons de jibias (Disidicus gigas) varadas en la costa debido a un fenómeno de hipoxia (falta de oxígeno en el agua de mar).



Reciclaje de gases invernadero (óxido nítrico y metano) en la región del Pacífico Sur-Oriental.

**Cambios Climáticos en Chile: Proyecciones y necesidades regionales.**

**Ecología reproductiva, ecología larval y ontogenia bentónica temprana en un océano que se torna más cálido y que se acidifica.**

**La acidificación del océano y el pH del mar costero de Chile.**

**Cambio Climático y Pesquerías: Un ejemplo de aplicación.**

**Cambio climático global a larga escala: ¿Qué información nos entregan los sedimentos marinos del Pacífico Sur-Oriental?**

**El Pacífico Sur-Oriental: Características resaltantes**

**Cambio climático global: Hipoxia, mortandades y varazones en la costa de Chile.**



www.redcruzdelosur.cl



## Glosario

ZMO: Zona de Mínima de Oxígeno  
PSO: Pacífico Sur-Oriental  
AESS: Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales  
CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono  
N<sub>2</sub>O: Óxido Nítrico  
CH<sub>4</sub>: Metano  
O<sub>2</sub>: Oxígeno  
CG: Calentamiento Global  
AO: Acidificación de los Océanos  
CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>: Iones Carbonato  
CaCO<sub>3</sub>: Carbonato de Calcio



## Reciclaje de gases invernadero (óxido nitroso y metano) en la región del Pacífico Sur-Oriental.

<sup>1,2</sup>Laura Farías, <sup>1</sup>Marcela Cornejo. <sup>1</sup>Laboratorio de Procesos Oceanográficos y Clima (PROFC), <sup>2</sup>Departamento de Oceanografía & Centro COPAS, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Los **gases con efecto invernadero (GEI)** no sólo están presentes en la atmósfera sino también disueltos en el agua de mar. Los océanos son capaces de capturar desde la atmósfera grandes cantidades de GEI como el **dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**, pero pueden liberar otros gases como el metano (CH<sub>4</sub>) y el **óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)**. Los organismos vivos (microbios, algas y pequeños animales) son los responsables de producir o consumir estos GEI en el océano.

El **Pacífico Sur Oriental (PSO)**, es una región del océano pobremente estudiada debido a su localización geográfica y lejanía de la mayoría de las rutas de navegación. Sin embargo, presenta características oceanográficas de importancia climática global. Entre éstas se encuentra la alta productividad biológica de sus costas debido a un proceso de afloramiento de aguas sub-superficiales (**surgencia costera**), ricas en nutrientes y GEI como el CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, pero pobres en oxígeno (O<sub>2</sub>). El afloramiento intensifica el intercambio de gases con la atmósfera y el consumo de O<sub>2</sub>, favoreciendo la acción de ciertos **procesos biogeoquímicos** de importancia climática. Entre éstos se encuentra la **desnitrificación y nitrificación** (responsables del reciclamiento del N<sub>2</sub>O) y la **metanogénesis y metanotrofia** (responsables del reciclamiento de CH<sub>4</sub>).

Estudios sobre la distribución de **GEI** (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), su intercambio con la atmósfera, y los procesos biológicos que los producen y/o consumen, han sido llevados a cabo extensivamente a lo largo de las costas de Chile. Gran parte de la investigación se realiza navegando en buques oceanográficos. Allí, se

toman muestras de agua de mar y aire que se analizan en el barco o se llevan a los laboratorios en tierra. Hemos monitoreado una gran parte del océano PSO y actualmente conocemos que la zona norte y centro de Chile se comporta como una fuente de GEI hacia la atmósfera, con impacto a nivel global. Por el contrario, las aguas del océano austral parecen estar captando estos gases, principalmente CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O, debido a las bajas temperaturas que poseen las aguas superficiales (que le permite solubilizar mayor cantidad de gases) y al hundimiento de éstas.

**Las principales sugerencias y lecciones a nivel país de este trabajo son:** que los ecosistemas marinos a lo largo del PSO (costa Chilena) tienen importante impactos regionales y globales en términos de emisión y/o secuestro de GEI. Los resultados nos sugieren que dichos ecosistemas son muy sensibles a potenciales cambios climáticos, pudiendo cambiar el rol biogeoquímico de éstos. De hecho, estudios previos nos aleccionan sobre: **(1)** Una intensificación de los vientos a lo largo de las costas Chilenas y **(2)** Una expansión de las zonas pobres en O<sub>2</sub>. Por lo tanto, estos cambios no sólo intensificarán los intercambios de GEI con la atmósfera, sino también cambiarán los procesos biogeoquímicos (y a los microorganismos) responsables de la producción de tales gases. Ante estos potenciales escenarios y otros mejor conocidos como el calentamiento global (aumento en la temperatura), se espera que el clima del planeta y los mecanismos de retroalimentación entre el océano y el clima cambien sustancialmente, y con ello, el reciclamiento de gases de importancia climática en el océano Pacífico.

## Cambios Climáticos en Chile: Proyecciones y necesidades regionales.

<sup>1</sup>René D. Garreaud. <sup>1</sup>Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.

Actualmente, existe evidencia contundente de tendencias climáticas -globales y regionales- atribuibles al aumento de la concentración de **gases con efecto invernadero (GEI)** en la atmósfera durante el siglo XX. Lo anterior ocurre en gran parte por la quema de combustibles fósiles asociada a **actividades antropogénicas** que se prevé continuará de manera sostenida durante parte del siglo XXI. Anticipar los cambios climáticos en las décadas siguientes resulta una necesidad imperiosa y de gran relevancia. Estas proyecciones son obtenidas de **modelos globales acoplados océano-atmósfera (GCM)** que contemplan diferentes escenarios de emisiones de GEI. Proyecciones con un mayor nivel de detalle regional pueden ser obtenidas de modelos regionales que emplean los resultados GCM como forzantes en sus bordes.

Las proyecciones climáticas para la segunda mitad del siglo XXI no sólo indican un aumento de la temperatura media del planeta, sino también, cambios en los sistemas de vientos y corrientes oceánicas, y en la distribución de precipitaciones. De particular importancia para el clima de nuestro país, es el marcado aumento de temperaturas sobre la Cordillera de los Andes como también la intensificación del borde sur del anticiclón del Pacífico suroriental y el desplazamiento hacia el sur del corredor de tormentas. Estos últimos dos elementos tendrán como principales consecuencias: **(a)** La disminución de las precipitaciones en la zona centro-sur de Chile, y **(b)** El aumento de los vientos del sur sobre la superficie del mar a lo largo de la costa de Chile entre los 25 y 40°S (dependiendo de la estación del año), alterando a su vez el patrón espacial del calentamiento superficial del aire. Por un lado, el aumento en la inten-

sidad y duración de los vientos del sur incrementan el afloramiento de aguas frías a lo largo de la costa contrarrestando parcialmente el calentamiento del aire sobre el océano. En contraste, la disminución de precipitación en el Valle Central y Cordillera de los Andes produce un calentamiento adicional entre las Regiones del Maule y Los Lagos. Los cambios esperados de temperatura y vientos sobre el mar y el continente, en conjunto con la disminución de precipitación, desencadenan una serie de cambios en otros sistemas físicos y ambientales, incluyendo una disminución en los caudales de los ríos, aumento en la evapotranspiración de cultivos y bosques, y cambios en la productividad marina a lo largo de la costa.

Chile dispone de una red de observaciones climáticas y ambientales que permite detectar cambios climáticos sólo en forma marginal. **Las principales sugerencias y lecciones a nivel país de este trabajo son:** **(1)** Una tarea básica es potenciar esta red, dotando de instrumental a las zonas deficitarias y desarrollando sistemas de información adecuados. **(2)** Salvo por una simulación climática regional (solicitada por la CONAMA y desarrollada por la Universidad de Chile el año 2007), nuestro país no cuenta con escenarios climáticos futuros de detalle regional, punto de partida para realizar proyecciones de cambios ambientales, los cuales también requieren de modelos específicos. Estas tareas no se reducen a la compra de "hardware", sino que requieren capital humano avanzado capaz de desarrollar, validar y analizar los resultados de estos modelos.

Contacto: rgarreau@dgf.uchile.cl

## Ecología reproductiva, ecología larval y ontogenia bentónica temprana en un océano que se torna más cálido y que se acidifica.

<sup>1,2</sup>Patricio H Manríquez. <sup>1</sup>Instituto de Biología Marina "Dr Jürgen Winter", <sup>2</sup>Laboratorio Costero de Recursos Acuáticos de Calfuco, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile.

El **Calentamiento Global (CG)** y la **Acidificación de los Océanos (AO)** corresponden a dos alteraciones abióticas asociadas al **Cambio Climático**. Los dos principales estresores asociados al CG (aumento de la temperatura) y a la AO (disminución del pH) impondrán serios desafíos a los ecosistemas marinos a través de sus efectos sobre las especies que los constituyen o sobre las interacciones entre estas. Los principales efectos de la AO se relacionan con la disponibilidad de iones **Carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)** en los océanos, los cuales son esenciales para la formación de **Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>)**. De la gran diversidad de organismos que habitan los océanos, los que precipitan CaCO<sub>3</sub> tales como gastrópodos, equinodermos, crustáceos y briozoos, son los que están en forma particular enfrentados potencialmente a un mayor riesgo. En estas especies el CaCO<sub>3</sub> representa el soporte estructural de los individuos (o colonias) y muchas veces es el componente esencial de sus estadios de dispersión (**larvas**). Gran parte de la evidencia existente en relación a CG y AO se concentra principalmente en alteraciones de la: **Ecología reproductiva** (motilidad de los espermatozoides, sobrevivencia de los gametos, éxito de la fertilización, retraso en el clivaje de los embriones), **Ecología larval** (desarrollo, malformaciones, calcificación, sobrevivencia, dispersión, asentamiento y metamorfosis) y **Ontogenia bentónica temprana** (crecimiento, malformaciones, calcificación y sobrevivencia). El análisis de la evidencia experimental existente muestra efectos negativos, positivos y neutros del CG y AO. Sin embargo, se espera que en los organismos marinos (invertebrados y algas) ocurran procesos micro-evolutivos y adaptaciones en la medida que éstos se enfrenten a las inmediatas disminuciones del pH y aumentos de la temperatura de los océanos.

En Chile, los invertebrados marinos que se utilizan para consumo humano (**mariscos**) como *Concholepas concholepas* (loco), *Fisurelidos* (lapas), *Mitilus chilensis* (choros) y *Loxechinus albus* (erizos) poseen ciclos de vida complejos. La mayoría de estos organismos se reproducen a través de

fertilización que ocurre en la columna de agua, todos poseen larvas de vida libre, y utilizan CaCO<sub>3</sub> para la conformación de sus estructuras protectoras como conchas y espinas. En consecuencia, efectos negativos de la inminente AO y CG puede tener consecuencias importantes y aun desconocidas en los **servicios ecosistémicos** de nuestro litoral.

**Las principales sugerencias y lecciones a nivel país de este trabajo son:** **(1)** Estudios sobre los efectos negativos de la AO y CG en nuestros sistemas costeros deben incorporar **modelos biológicos** característicos de nuestra costa y que permitan el desarrollo de los mejores diseños experimentales; **(2)** Los estudios debe realizarse con organismos que posean rasgos con plasticidad fenotípica, heredables, y en los cuales también se pueda evaluar el efecto sinérgico de otros estresores globales, como variaciones en nutrientes y agua dulce; **(3)** Independiente del signo de los efectos de la AO y CG, este escenario constituye una plataforma interesante para **estudios asociativos y holísticos** en los que se incorporen investigadores de excelencia en ecología experimental, biología reproductiva, fisiología, conducta, morfología y oceanografía química; **(4)** Debido a que los **servicios ecosistémicos** marinos (capital natural) contribuyen al bienestar de los seres humanos y proporcionan valiosos insumos a la economía, las investigaciones de esta naturaleza deben ser privilegiadas por las agencias que financian investigación en nuestro país. En Chile, al menos dos proyectos investigan la problemática de la acidificación de los océanos y sus consecuencias en organismos calcificadores marinos: Proyecto Fondecyt 1090624 "Entendiendo los efectos climáticos de los aumentos de temperatura y acidificación de los océanos en los invertebrados bentónicos del Ecosistema Pacífico Sur Occidental (TOA-SPACE)" y Proyecto de Investigación asociativa Anillo ACT-132 "Acidificación de los océanos en un futuro cercano y sus efectos sobre recursos marinos. Variación latitudinal y el ingreso de aportes de agua dulce".

Contacto: pmanriquez@uach.cl

## La acidificación del océano y el pH del mar costero de Chile.

<sup>1</sup>Rodrigo Torres. <sup>1</sup>Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP).

La actividad humana está produciendo cambios en el ambiente global, al afectar la transformación y movimiento de los elementos químicos en el planeta. La combustión de combustibles fósiles es la causa principal del incremento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera. El aumento de este gas invernadero (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, no sólo tiene la capacidad de afectar el clima del planeta, sino también de afectar profundamente la química del mar. El efecto del aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico en la química del mar se origina en el hecho que el CO<sub>2</sub> (gas) reacciona con el agua de mar formando ácido carbónico y por ende disminuyendo el pH de los océanos (**Acidificación del Océano; AO**). La disminución del pH marino (AO), disminuye la concentración del **ión carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)** lo que puede inducir la disolución del **carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>)** que conforma la concha de muchos organismos marinos.

Los océanos polares (altas latitudes) tienen niveles naturalmente bajos de ión carbonato, por ello las porciones de los océanos localizadas en latitudes altas experimentarán más intensamente el efecto de la AO. Basados en las tasa de emisión de CO<sub>2</sub> antropogénico actual, los modelos proyectan que al final de esta centuria las aguas superficiales del Océano Austral, Ártico y partes del Pacífico comenzarán a estar insaturadas con respecto al CaCO<sub>3</sub> en la forma de Aragonita ("agua corrosiva para el CaCO<sub>3</sub>"). El "agua corrosiva para el CaCO<sub>3</sub>" y la disminución del pH es un foco de activo debate e investigación pues **tiene el potencial de afectar glo-**

**balmente la vida acuática** en una enorme variedad de formas.

En el norte y centro de Chile, los vientos y la rotación de la tierra hacen que el agua superficial se mueva hacia mar adentro (perpendicular a la costa), causando un efecto de bombeo de agua profunda cerca de la costa, llamada Surgencia Costera. Esa agua de origen profundo es fría, rica en CO<sub>2</sub> y con bajo pH. Así cuando esta agua aflora cerca de la costa el pH del mar superficial puede bajar "naturalmente" y el mar costero se constituye en una fuente de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En el sur de Chile, los vientos no favorecen la Surgencia Costera, y las aguas superficiales tienen menos CO<sub>2</sub> que las aguas de surgencia en los meses de primavera-verano. Sin embargo, las bajas temperaturas de la Patagonia y la dilución de las aguas costeras con las precipitaciones y aporte del derretimiento de los hielos bajan la concentración ión carbonato en las aguas superficiales, bajando el estado de saturación del CaCO<sub>3</sub> y en algunos casos extremos (fiordos con agua superficial de baja salinidad) esta agua puede estar insaturada para Aragonita.

**Las principales sugerencias y lecciones a nivel país de este trabajo son:** **(1)** Monitorear en detalle la química del carbono en aguas chilenas y; **(2)** Estudiar el efecto de la disminución del pH a diferentes niveles (individuos, poblaciones, ecosistemas). Este conocimiento será la base para aquilatar los cambios venideros y aumentar nuestra capacidad de adaptación al nuevo escenario químico del mar.

## Cambio Climático y Pesquerías: Un ejemplo de aplicación.

<sup>1</sup>Eleuterio Yáñez R, <sup>2</sup>María Ángela Barbieri B & <sup>1</sup>Francisco Plaza V. <sup>1</sup>Escuela de Ciencias del Mar, Facultad de Recursos Naturales, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, <sup>2</sup>Instituto de Fomento Pesquero.

Los **Cambios Climáticos** se han sucedido aproximadamente cada 120 mil años, con máximos similares en diferentes variables geológicas, aunque actualmente algunas ampliamente superadas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>), lo que se atribuye al **efecto antropogénico**. Frente a las advertencias del impacto del **Cambio Climático**, es importante analizar el problema desde diferentes puntos de vista, dentro de los cuales las actividades pesqueras de impactos socio-económicos son de sumo relevantes.

Estudios para Chile, pronostican al año 2100 aumentos del nivel del mar del orden de los 20-30 cm y vientos que aumentarían significativamente, producirían enfriamientos en contraposición al calentamiento de los océanos. Cabe señalar que los vientos juegan un rol importante en la distribución y abundancia de especies marinas.

Producto de diversos análisis de variables biológicas y ambientales, se deducen modelos conceptuales que indican relaciones espacio-temporales que afectan a las pesquerías pelágicas particularmente costeras. Así, se aprecian cambios de regímenes por variaciones interdecadales del ambiente e interanuales asociados al evento de **El Niño**; así como cambios intraestacionales por eventos remotos del Ecuador y diario-estacionales asociados al ciclo anual. Esta información es útil para incursionar en la modelación predictiva y ecosistémica, toda vez que algunos esfuerzos se han desarrollado recientemente con redes neuronales artificiales en relación con pesquerías pelágicas del norte de Chile. Estos modelos, podrían considerar la dimensión espacial para ac-

pliarlos a **Modelos de Circulación Global (MCG)** y precisar efectos probables del cambio climático.

Por el momento hemos considerado un **modelo de red neuronal** de carácter temporal para predecir niveles de captura de anchoveta del norte de Chile hasta el 2100, considerando tres escenarios propuestos en la literatura: Aumentos de temperatura superficial del mar en 0.035 y 0.025 °C/año, y disminución en 0.025°C/año. Aumentos de la temperatura, en esta especie de aguas más bien frías, produciría claras disminuciones; en tanto que el enfriamiento produciría aumentos hasta que se sobrepasen probablemente ciertos niveles de turbulencia y de transporte mar afuera (Fig. 1).

Nuestra experiencia nos muestra que se debe precisar la influencia del ambiente sobre los recursos pesqueros y evaluar el carácter predictivo de modelos que estimen la abundancia y biodiversidad en el marco del cambio climático, para lograr políticas de gestión eficientes.

**Las principales sugerencias y lecciones a nivel país de este trabajo son:** **(1)** Las aplicaciones futuras de estos modelos, deben incorporar la dimensión espacial de fenómenos que ocurren en diferentes escalas (local, mesoescala y global). **(2)** En tanto que los modelos calibrados y validados deben usar un lenguaje de fácil codificación y aplicación para escenarios generados a través de GCM regionalizados que faciliten el acoplamiento de dichos modelos.

Contacto: eyanez@ucv.cl

Fig. 1. Proyecciones mensuales hasta el 2100 de los desembarques de anchoveta en el norte de Chile.

