



# Impactos en el Mar

*Mayor acidez en el medio marino y eventos de surgencia e hipoxia que han causado la muerte de especies, son algunos fenómenos observados en Chile que podrían asociarse al cambio climático.*

**E**n enero del año 2008, cientos de peces, moluscos y otros organismos marinos aparecieron muertos en Bahía de Coliumo, en la Región del Bío Bío. Las investigaciones científicas posteriores constataron la causa de esta mortandad: una reducción muy fuerte de oxígeno (hipoxia) en esa zona del océano, asociada a un fenómeno natural llamado surgencia, vale decir, la subida de aguas con bajo contenido de oxígeno desde el fondo marino hacia la superficie.

Ese hecho puntual ha generado especial interés para algunos investigadores nacionales, debido a una razón singular: podría ser una de las muestras de los efectos que el cambio climático está provocando en el medio marino.

No es el único. Otros estudios muestran, por ejemplo, que la mayor concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera está aumentando la acidez en las aguas oceánicas, lo que a largo plazo podría afectar significativamente a especies como moluscos y corales. También a futuro se pronostican vientos más intensos que podrían generar un ambiente más frío en las costas chilenas, favoreciendo la pesca de especies como la anchoveta. Así, los efectos del cambio climático podrían no sólo traducirse en incrementos de temperatura y “calentamientos”, sino que también en enfriamientos en ciertas zonas del océano.

Estas son parte de las observaciones que un

grupo de investigadores ha realizado en las costas de Chile y que comienzan a abrir la discusión sobre los impactos que el calentamiento global puede llegar a tener sobre los ecosistemas marinos.

Un debate que, sin duda, también es importante para el desarrollo del país, considerando que esto incidirá en las actividades económicas que dependen de estos recursos.

## **Abrir el Debate**

De acuerdo al último reporte del Panel Inter-

gubernamental de Cambio Climático (IPCC), publicado en el año 2007, este fenómeno podría causar los siguientes impactos en el medio ambiente marino: variaciones en la circulación de los océanos, en la salinidad y acidez del mar, y en la cobertura del hielo marino; aumento en el nivel de las aguas y en la temperatura oceánica; cambios en la frecuencia de eventos extremos que afectarán la estructura y función de ecosistemas marinos; y también modificaciones en los patrones de viento.

Andrés Camaño, biólogo marino y Gerente Corporativo de Medio Ambiente, Salud y Seguridad Ocupacional de la empresa Arauco, señala: *“Existe un fuerte consenso científico respecto a que el clima global se va a ver alterado en el siglo XXI como resultado de la concentración de gases de efecto invernadero. Sin embargo, hay una gran incertidumbre en relación a la magnitud de estos cambios, tanto a nivel regional como local. En particular, existe poca discusión respecto de los efectos del cambio climático en el área marina”*.

Agrega que en nuestras costas se vienen observando cambios en los regímenes de viento y pluviosidad, así como en los patrones de surgencia, y en fenómenos como El Niño, siendo necesario analizar y buscar la relación que todo ello tiene con el calentamiento global. *“Asimismo, las pesquerías podrían ya estar siendo afectadas por estos factores, y cabe preguntarse ¿cómo esta industria va a enfrentar estos temas y sus eventuales efectos?”*, acota Camaño.

Para abrir el debate sobre estos asuntos, el Capítulo Ciencias del Mar de la Red Universitaria Cruz del Sur y Arauco organizaron el simposio “Cambio Climático Global y sus Efectos en el Ambiente Marino”. El evento tuvo lugar a mediados de octubre en el marco del XXX Congreso de Ciencias del Mar, desarrollado por la Universidad Católica de la Santísima Concepción y la Sociedad Chilena de Ciencias de Mar, y contó con el patrocinio del Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y el auspicio de Arauco.

El encuentro tuvo como objetivo principal dar a conocer estudios y líneas de investigación desarrolladas en nuestro país relacionadas con las modificaciones e impactos que se producirán como consecuencia del cambio climático global en el ambiente marino del Pacífico Suroriental. A continuación detallamos algunos de los planteamientos recogidos en esta cita.

## Viento y Surgencia

En su presentación “Proyecciones regionales de cambio climático en la costa de Chile centro-sur”, el doctor René Garreaud, climatólogo de la Universidad de Chile, detalló las modificaciones que se esperan para el siglo XXI con respecto a los regímenes de circulación de vientos, temperatura y precipitaciones en dicha zona, y cómo estos factores podrían incidir

en las condiciones del océano en el futuro.

El especialista explica que un rasgo relevante del clima actual es que la circulación anticiclónica produce vientos del sur predominantes a lo largo de la costa chilena, los que luego se transforman en los alisios del sureste y convergen en la zona pacífico-ecuatorial donde está la base del fenómeno de El Niño. Los vientos tienen distintas velocidades e intensidades, dependiendo del área específica y de la época del año, y al impactar con fuerza sobre la superficie marina son uno de los factores que provocan los procesos de surgencia en el océano.

Garreaud agrega que otra característica climática es la presencia de una cubierta más o menos permanente de nubes sobre los océanos subtropicales, la cual refleja una gran cantidad de rayos solares, aminorando la energía que llega a la superficie. *“Por lo tanto, lo que vaya a pasar con estas nubes también tiene una particular importancia para el futuro del clima marítimo y del comportamiento del océano”*, enfatiza.

El climatólogo explica luego que las proyecciones basadas en los diversos modelos globales desarrollados por los científicos que estudian el cambio climático, coinciden de manera consistente en algunos aspectos como los siguientes:

- Entre el año 2000 y 2100, las presiones atmosféricas tenderán a disminuir cerca de la costa sudamericana en torno al Ecuador, y a aumentar en la zona del Pacífico Oeste. Asociado a ello, para la zona tropical se prevé un debilitamiento en la circulación de los vientos alisios, lo que produciría una condición similar al fenómeno de El Niño en el Pacífico ecuatorial.
- El calentamiento global produciría también una expansión hacia el sur del anticiclón del Pacífico, lo que causaría una intensificación en los vientos del sur hacia lo largo de la costa chilena. Hay

modelos regionales que confirman este pronóstico y dan más detalles, señalando por ejemplo que los episodios de vientos intensos se harían más frecuentes a expensas de los vientos más débiles. Esto podría tener consecuencias biológicas muy importantes en el mar, porque mientras los vientos más intensos fuerzan procesos de surgencia, la posterior relajación eólica cumple una función relevante para la biodiversidad del océano.

- Asociado al fortalecimiento del anticiclón en la zona más austral, se predicen menos precipitaciones frente a las costas de la zona centro-sur de Chile.
- La temperatura, en tanto, aumentaría al interior del continente, mientras que el océano se calentaría relativamente poco debido en parte a la intensificación de los vientos ya mencionada.

Garreaud comenta que las proyecciones con respecto a la nubosidad son muy inciertas. Y añade que hay antecedentes de que algunos de los fenómenos señalados ya están ocurriendo. A modo de ejemplo, comenta: *“Los registros de temperatura entre 1979 y 2006 muestran que en general en la cordillera y los valles ha aumentado, pero a lo largo de la costa y en las islas oceánicas ha disminuido. Esto nos dice que aparentemente el aumento de presión y la mayor intensidad de los vientos que vemos hacia el futuro ya están operando, produciendo temperaturas más frías en los últimos 30 años en la costa chilena. Este enfriamiento costero contrasta con el calentamiento continental, pero a la vez es parte del proceso de cambio climático, que no plantea condiciones homogéneas en el planeta”*.

## Océano Más Acido

Como se sabe, el cambio climá-



Los cambios en el medio marino tienen efectos en la actividad pesquera.

co que hoy estamos viviendo ha sido gatillado en gran medida por la alta concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera generados por la actividad humana.

Esto último tiene un impacto directo sobre el medio marino, ya que parte del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente en el aire es absorbido por el océano, con lo que aumenta la acidez de sus aguas. Así lo han comprobado diversos registros realizados en el mundo y también en la zona costera de Chile, las cuales muestran que el pH del agua de mar disminuye a medida que el  $\text{CO}_2$  aumenta.

El académico Rodrigo Torres, del Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia, advierte: "La acidificación del océano es un fenómeno que está ocurriendo de manera acelerada, y que es irreversible a escala humana, o sea, este cambio va a perdurar, aún cuando se reduzcan las emisiones de  $\text{CO}_2$ . Esto puede tener consecuencias particularmente drásticas para los ecosistemas marinos".

El especialista explica que la mezcla de  $\text{CO}_2$  con el agua del mar forma ácido carbónico, aumenta los iones de hidrógeno e iones de bicarbonatos, y disminuye la cantidad de carbonato de calcio presente en el medio (ver figura 1). Esto último es muy relevante para el ecosistema marino, ya que este componente lo utilizan los organismos invertebrados como los corales, moluscos y crustáceos, para formar conchas duras y esqueletos.

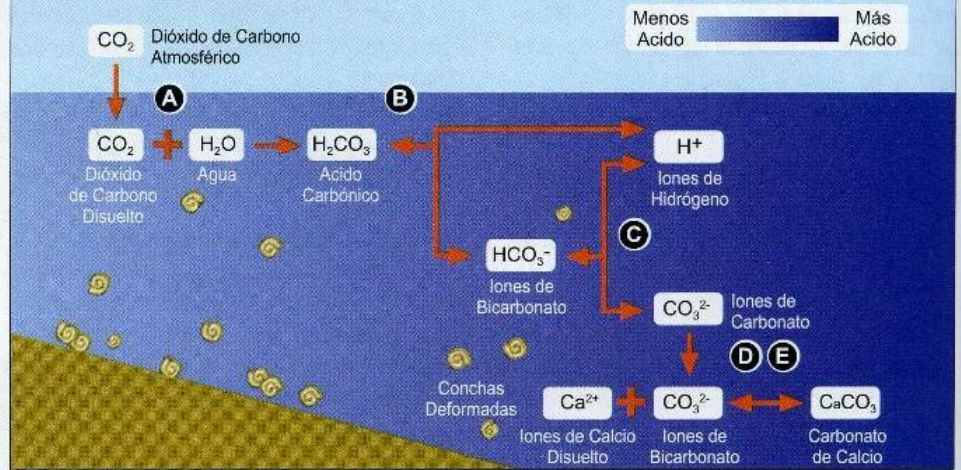
Torres dice que el efecto de la acidificación en el mar, y en especial de la saturación de carbonato de calcio, no es homogénea en el océano. "Las altas latitudes en el Pacífico son particularmente sensibles a estos cambios. Las predicciones al año 2100 señalan que una buena parte de nuestro mar tendrá un pH más bajo y empezaría a ser corrosivo para las estructuras de carbonato de calcio de algunos organismos marinos", acota.

Agrega que los resultados de las mediciones de  $\text{CO}_2$ , pH y otros parámetros realizadas desde 1995 a lo largo de la costa chilena muestran que en la zona centro norte del país el mar libera dióxido de carbono hacia la atmósfera; mientras que en el sur de Chile, este compuesto entra desde el aire al océano. Esta diferencia se explica por fenómenos de surgencia que llevan a la superficie una corriente de aguas que es muy pobre en oxígeno y rica en  $\text{CO}_2$ , el que al llegar a la superficie se libera inmediatamente.

Considerando que la Patagonia es una zona muy sensible a estos cambios, se realizó un proyecto de investigación en los fiordos de Campos de Hielo Sur, donde predominan las turbas, plantas que pueden crecer casi sin nutrientes y están compuestas básicamente por agua y carbono. El estudio comprobó que estas especies captan una gran cantidad de carbono, y advierte que si se producen cambios en la temperatura y en las precipitaciones, como las que auguran los pronósticos climáticos de largo plazo, este elemento se

Figura 1:

## Proceso de transformación química del $\text{CO}_2$ en el mar



Fuente: Universidad de Maryland.

podría movilizar hacia el mar como carbono orgánico disuelto y causaría un gran cambio en la acidificación de las aguas costeras. Asimismo, el carbono se podría liberar a la atmósfera y conformar de  $\text{CO}_2$  y metano.

## Efectos en los Organismos

La acidificación del océano y su efecto en la disolución del carbonato de calcio puede tener efectos muy relevantes en el desarrollo de algunos organismos marinos, especialmente en sus etapas más tempranas (gametos, larvas y post metamórficos).

El investigador Patricio Manríquez, de la Universidad Austral de Chile, comenta que el carbonato de calcio es muchas veces un componente esencial de invertebrados bentónicos en sus estadios larvales, mientras que en las fases post metamórficas (juveniles y adultos) es su soporte estructural. "En consecuencia, estos organismos son los que enfrentan un riesgo potencial mayor ante la acidificación del océano", apunta.

Agrega que a nivel internacional existe clara evidencia de que los gametos y larvas actualmente se desenvuelven en columnas de agua más cálidas, acidificadas y con mayores presiones parciales de oxígeno y  $\text{CO}_2$ . Asimismo, los estudios afirman que estas condiciones del medio marino han causado efectos como la reducción en la tasa de reproducción de los organismos y retrasos en este proceso, impactos negativos sobre la fertilización, malformaciones en las larvas que muchas veces no logran sobrevivir y disminución en el tamaño de éstas.

No obstante ello, revisiones más recientes concluyen que la acidificación del océano tiene efectos positivos, negativos y neutros en diferentes estadios del desarrollo temprano de las especies utilizadas

en los modelos de estudio. Vale decir, los organismos están respondiendo de manera diferenciada, tanto en etapas tempranas como avanzadas de su desarrollo. Además, se espera que ocurran procesos de adaptación y micro evolutivos en los organismos, en la medida que se encuentren con disminuciones de pH y aumento de la temperatura.

En Chile también se están realizando estudios en torno a estos temas, tanto en el medio natural como en condiciones de laboratorio. Patricio Manríquez señala que junto a un equipo multidisciplinario de científicos están experimentando con Concholepas (locos), para saber cómo van a responder este tipo de especies frente a la acidificación del océano. Resalta que este trabajo no sólo es importante para los científicos, sino también para las numerosas comunidades locales y empresas que desarrollan actividades económicas en torno a estos recursos. Por lo mismo, indica que es necesario seguir profundizando estos esfuerzos. "Los cambios irreversibles que se están produciendo en el pH de las aguas son una oportunidad única para el desarrollo de las ciencias del mar en Chile, porque permiten desarrollar un trabajo asociativo para abordar un problema, y es una buena plataforma para crear capacidades", concluye.

## Clima y Pesquerías

La variabilidad climática, al igual que otros factores ambientales, son elementos determinantes para la actividad pesquera.

El investigador Eleuterio Yáñez, de la Universidad Católica de Valparaíso, señala que se han desarrollado modelos conceptuales que permiten analizar la relación entre medio ambiente y productividad

pesquera, en distintas zonas del país.

En ese contexto, se ha podido apreciar por ejemplo cómo en el norte de Chile la pesquería que se desarrolla diariamente es afectada tanto por eventos que pueden durar un día o una semana como la presencia de vientos intensos y la surgencia, como también por fenómenos de gran escala que suceden en todo el Pacífico y en espacios de tiempo mayores, como El Niño. Así, algunos estudios muestran por ejemplo que el rendimiento en la captura del jurel desde 1983 en adelante ha disminuido, justo con la predominancia de un ambiente frío en la zona central de Chile. De igual forma, se ha constatado que esa condición favorece la producción en torno a la anchoveta y que el reclutamiento y captura de esta especie también están asociados a variables ambientales como la turbulencia de las aguas y la intensidad de los vientos.

A todo eso, ahora hay que sumar el cambio climático como un factor que causará impactos sobre las pesquerías. Yáñez advierte que este tema se debe abordar desde una perspectiva amplia que considere el estudio de sus efectos sobre la biología del recurso, y también de sus impactos socio-económicos.

Luego señala que para visualizar los posibles efectos que este fenómeno tendría en el futuro sobre las pesquerías, un equipo de investigadores incluyó los pronósticos de diversos especialistas en

torno al cambio climático en un modelo predictivo para la anchoveta. Los resultados de ese trabajo aplicado a la zona norte de Chile señalan que si hubiera un calentamiento en el océano el reclutamiento y captura de esta especie disminuiría. En cambio, si se da un enfriamiento, la pesquería de anchoveta se vería favorecida en un comienzo, pero también podría reducirse a largo plazo si los vientos aumentan mucho debido a que producirían efectos como la turbulencia que amoniarían la biomasa de este recurso.

Yáñez señala que es necesario seguir profundizando en este tipo de trabajos, incorporando a los modelos la dimensión espacial de los fenómenos. También recomienda validar los modelos y considerar aproximaciones regionales que permitan apreciar mejor los posibles efectos del cambio climático.

Asimismo destaca la importancia de dar a conocer los resultados de las investigaciones y modelos de estudio a los pescadores y a los encargados de tomar las decisiones en torno al desarrollo de esta actividad. *“La ciencia está lejos de transmitir los resultados de las investigaciones a la comunidad, pero se hacen esfuerzos y en el ámbito de la pesquería yo diría que vamos un poco más adelantados. Nuestro grupo académico trabaja para entregar un pronóstico de las condiciones que los pescadores podrán encontrar mañana o el próximo mes. Además, en la Universidad tenemos jorna-*

*das de pesquería donde los pescadores artesanales e industriales, más los responsables del manejo discuten en torno a estos temas, y los científicos les mostramos los alcances de las investigaciones relacionadas con su actividad económica”,* apunta Yáñez.

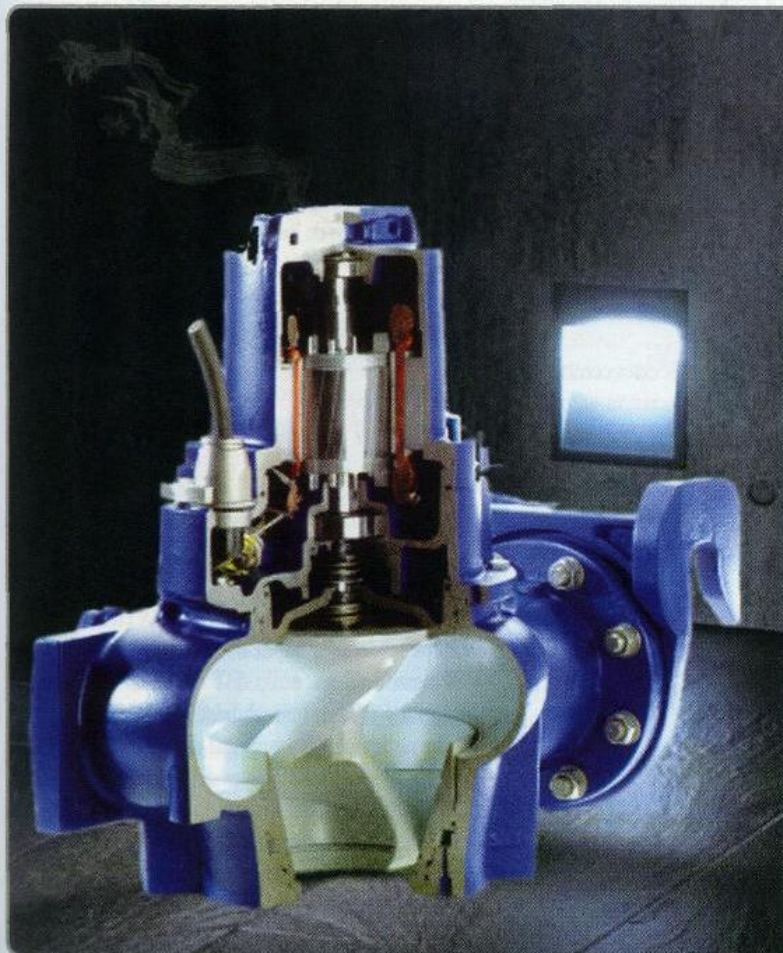
## Problemas de Hipoxia

El académico de la Universidad de Concepción Renato Quiñones, explica que la hipoxia se puede dar de manera natural, como ocurre en los eventos derivados de la surgencia. También puede tener origen antropogénico, vinculada esencialmente a fenómenos de eutroficación.

Comenta que un estudio reciente indica que la cantidad de sitios en que se ha reportado este fenómeno a nivel mundial está aumentando de manera exponencial, y que a nivel científico aún existen muchas dudas respecto de cómo funcionan los ecosistemas cuando están enfrentados a hipoxias extremas de alta velocidad.

Quiñones señala que en la costa chilena, el área en que se registran mínimas de oxígeno es muy amplia: 2,18 millones de kilómetros cúbicos, según una estimación realizada en 2009.

El especialista sostiene además



Bombas • Válvulas • Sistemas



### Amarex KRT: Versión estacionaria, transportable, instalación en seco.

Motobombas sumergibles para el bombeo de aguas sucias de todo tipo: en la gestión de aguas residuales y en la industria, especialmente para el bombeo de aguas servidas no tratadas con fibras largas e impurezas sólidas.

Visite nuestra amplia gama de productos en: [www.ksb.cl](http://www.ksb.cl)

KSB Chile S.A. ■ Av. Las Esteras Sur 2851 ■ Quilicura ■ Santiago  
KSB Concepción ■ Marco Polo N° 9038 ■ Flex Center Bío-Bío  
■ Local 1 ■ Hualpén

que la mayor intensidad de los vientos, vinculada con el cambio climático, estaría favoreciendo los fenómenos de surgencia que finalmente desencadenan algunos casos de hipoxia que bajo ciertas circunstancias reducen el oxígeno a tal grado que han llegado a producir mortandades importantes en el ecosistema marino. Así sucedió, por ejemplo, en el verano del año 2008 en la Bahía de Coliumo, donde se encontraron muertos peces, pulpos, crustáceos, bivalvos y bentos, entre otras especies.

En ese caso, se disponía de información previa recogida gracias al programa de monitoreo Pimex que desarrolla la empresa Arauco con la Universidad de Concepción, lo que permitió apreciar los cambios producidos en el mar durante el período en que se registró la mortandad de especies marinas. "A través de ese muestreo, pudimos ver cómo un fenómeno de surgencia de agua ecuatorial subsuperficial comenzó a tomar fuerza el 3 de enero, cubriendo una zona aproximada de 50 mil kilómetros cuadrados, incluyendo la costa. Se pudo apreciar también que el día en que se produjo la mortandad, el oxígeno disuelto en la bahía Coliumo era prácticamente cero desde el fondo hasta la superficie. En los otros lugares afectados por la surgencia, en cambio, había condiciones en la superficie para que los organismos pudiesen obtener una cantidad suficiente de oxígeno para sobrevivir", detalla Quiñones.

Agrega que la mortandad atrajo luego a millones de Nassarius (caracoles), organismos carroñeros que se encargaron de "limpiar" la bahía. Destaca que luego del evento hipóxico, se pasó rápidamente a la recuperación del ecosistema mediante el reemplazo de especies, observándose una alta resiliencia en la comunidad biológica.

Renato Quiñones señala que todos estos antecedentes permiten estar mejor preparados para



Los efectos del cambio climático en el mar son un tema a debatir, dice Andrés Camaño.

enfrentar los eventuales efectos del cambio climático, ya que las proyecciones señalan que este fenómeno traerá cada vez más eventos de surgencia de agua ecuatorial subsuperficial en nuestras costas.

## Base para las Decisiones

En septiembre pasado, el Doctor Juan Carlos Castilla fue distinguido con el Premio Nacional de Ciencias Aplicadas 2010. El biólogo marino de la Universidad Católica y actual miembro de la Academia de Ciencias de Estados Unidos, fue el coordinador del seminario sobre los efectos del cambio climático en el ambiente marino. A modo de conclusión, el destacado académico indica: "La alta calidad técnica de las presentaciones demostraron que en Chile se está realizando un trabajo de vanguardia mundial en esta materia. Nuestros investigadores están trabajando mucho en torno a la problemática de lo que yo llamaría cambio global, ya que no se refiere sólo a cambios en el clima, sino también a nivel de pH, química,

comunidades biológicas".

Recalca que hay algunos temas que es necesario tratarlos a nivel nacional o regional, ya que -tal como lo señalaron varios investigadores- el cambio climático no se va a manifestar de igual modo en todas las latitudes del mundo.

Castilla también subraya la necesidad de fortalecer el vínculo entre la investigación científica y los encargados de definir las políticas públicas y de tomar decisiones en el ámbito público y privado. "En los últimos 20 años, el Estado ha hecho una inversión en ciencia muy grande y tiene un capital de conocimiento y de científicos enorme, pero esto no está siendo aprovechado por los gobiernos, en ninguno de sus ministerios. Así quedó demostrado con la Onemi en el terremoto; este organismo debiera contar siempre con varios geofísicos de punta", dice.

Agrega que Chile debiera imitar a los países sajones, donde los ministerios cuentan con cuatro o cinco académicos que no tienen compromiso político, sino que sirven para hacer un puente entre el conocimiento nacional e internacional y las autoridades públicas. "En Chile, los servicios públicos también debieran demandar la experiencia existente en las universidades, para que les presten asesoría en algunos temas. Eso no tiene un costo y, sin duda, ayudaría a enfrentar mejor las decisiones complicadas como la de la central Barrancones. Yo creo que el Gobierno en ese caso debiera haber consultado a un grupo de expertos chilenos en borde costero, porque ese "know how" está en el país, para que presentara una propuesta y luego se tomara una decisión. Sin embargo, eso no ocurre".

Destaca que el mundo académico en Chile ha desarrollado trabajos muy valiosos en torno al cambio climático, algunos de los cuales ya se han puesto en conocimiento de autoridades como el Ministerio del Medio Ambiente. "Hay cuatro o cinco trabajos que se han hecho en los últimos dos años y que son muy parecidos al informe Stern, donde se analiza por ejemplo cuánto le va a costar al país adaptarse a los cambios que ya estamos viviendo", apunta.

Finalmente advierte que si bien nuestro país tiene una responsabilidad ínfima en las emisiones globales causantes del cambio climático (es responsable sólo del 0,2%), es necesario preocuparse de las emisiones per capita que hoy alcanzan a cerca de 4 ton. de CO<sub>2</sub> equivalente por persona al año y en los próximos años tenderán a duplicarse, considerando cualquier escenario de desarrollo. Ese escenario obliga a mirar más allá de las responsabilidades a nivel país e impone una responsabilidad ética que debe asumir cada uno de los individuos e integrantes de la sociedad chilena. En ese sentido, celebra los esfuerzos de las empresas que están midiendo su huella de carbono y resalta la importancia de educar e inculcar esta conciencia a las nuevas generaciones.

## EL CLIMA DEL PASADO

La influencia de los cambios del clima sobre el medio marino es algo que los investigadores también han estudiado recurriendo a las evidencias de hace miles de años. Carina Lange, académica de la Universidad de Concepción, explica que para ello se utilizan indicadores -denominados proxis-, tanto de microfósiles como de bio marcadores orgánicos que se preservan en los sedimentos y que permiten estudiar los cambios en la columna de agua a lo largo del tiempo.

En ese contexto, la especialista dio a conocer algunos cambios que se han producido en el Pacífico sur-oriental, región que se caracteriza por ser una de las más productivas del planeta y tener varios focos de surgencia costera, que también actúan como fuentes de gases de efecto invernadero. Asimismo, contiene una zona de mínimo oxígeno que es una de las menos profundas y más extensas

del océano; y que responde a condiciones constantes remotas provenientes del Pacífico ecuatorial, como también desde el sur.

Los estudios de los sedimentos señalan, por ejemplo, que la productividad del mar frente a las costas de Chile, en la última época glacial (25 a 20 mil años atrás) era mayor que la registrada en los últimos 15 mil años. "Varios otros proxis muestran que desde Valparaíso hacia el norte la productividad era mayor durante el último máximo glacial, mientras que en la zona centro sur, el incremento es posterior. Se infiere que eso tuvo que ver con que hace 25 a 20 mil años atrás, los vientos del oeste se movieron hacia el norte, mientras que en la era post-glacial se registró un movimiento hacia el sur", dice Lange. Asimismo, añade que durante el último máximo glacial, las surgencias fueron más intensas que las ocurridas en los últimos 15 a 10 mil años.