

La pesca es arte, pasión, intuición y ciencia.

Las pasiones y emociones muchas veces se imponen y dominan el horizonte, cual fuerte oleaje que impone una mala jornada y poca pesca.

Pero en mal calma y ante abundancia de peces, se vislumbran mejores perspectivas y se recuperan los ánimos.

El día 24 de febrero, el Instituto del Mar del Perú, en un horizonte de ciencia presentó un extraordinario trabajo:

The Northern Humboldt Current System: Ocean Dynamics, Ecosystem Processes, and Fisheries Edited by Arnaud Bertrand, Renato Guevara-Carrasco, Pierre Soler, Jorge Csirke and Francisco Chavez

Este documento es un trabajo conjunto entre el IMARPE, el IRD (Institut de recherche pour le developpement), el Monterey Bay Aquarium Research Institute y la FAO. Un documento importante para la pesquería peruana que pone algunas cosas en perspectiva científica.

Mayor referencia se puede encontrar en los siguiente links:

Progress In Oceanography

Volume 79, Issues 2-4, October-December 2008, Pages 95-105

The Northern Humboldt Current System: Ocean Dynamics, Ecosystem Processes, and Fisheries

http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/422/description#description

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00796611>

Más allá de un trabajo para oceanógrafos, nos deja un claro mensaje que en esencia dice que, la naturaleza ha concedido a los peruanos el extraordinario privilegio de tener la riqueza que proporciona el Sistema Marino de Humboldt.

Tenemos el deber de conocerlo, preservarlo y mantenerlo para que las futuras generaciones sigan disfrutando de este privilegio.

Más allá de las pasiones y emociones, superando a la ciencia misma, existe una obligación moral que nos debe impulsar a sumar esfuerzos en el mantenimiento y construcción de una pesquería sustentable.

A continuación se transcribe un resumen en castellano de su editorial

Editorial del libro

Francisco P. Chávez^{a*}, Arnaud Bertrand^{b,c*}, Renato Guevara Carrasco^c, Pierre Soler^d, Jorge Csirke^e

*Estos dos autores contribuyeron igualmente a la edición del libro y la redacción del Editorial; e-mail: chfr@mbari.org (F.P. Chávez), Amaud.Bertrand@ird.fr (A. Bertrand)

^a Monterrey Bay Aquarium Research Institute, 7700 Dandholdt Rd Moss Landing, CA 9503,9 USA

^b Institut de Recherche pour le Développement (IRD), CRH, Avenue Jean Monnet, BP 171, 34203 Sète Cedex, France

^c Instituto del Mar del Perú, Esquina Gamarra y Gral Valle, Apartado 22, Callao, Lima, Perú

^d IRD, 44 bd de Dunkerque, CS 90009, 13572 Marseille cedex 02, France

^e Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Viale delle Terme di Caracalla, 00513 Roma, Italia

Resumen

El presente documento es una traducción del editorial del volumen especial de la revista Progress in Oceanography 79(2-4) 2008, donde se publicaron los actos de la "Conferencia Internacional sobre el Sistema de la Corriente de Humboldt: Clima, dinámicas oceánica, procesos del ecosistema y pesquerías", realizada en Lima a fines del 2006. El enfoque del volumen especial está en la parte norte del Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) fuera de las costas peruanas el cual está sujeto a grandes fluctuaciones interanuales a multidecadales, en el clima y que produce más peces por unidad de área que cualquier otra región en los océanos del mundo. Las nuevas capacidades *in-situ* así como la observación por satélites, las series de datos multidisciplinarios de largo plazo, las nuevas capacidades analíticas y los progresos en el modelaje han abierto nuevas ventanas hacia las dinámicas de este importante ecosistema. En este editorial primero se proporciona un breve panorama de la historia de los estudios ecológicos y socio económicos en el SCH del norte, luego se introducen los trabajos del volumen especial dentro del contexto de: (i) variabilidad del clima, (ii) nuevas observaciones y modelos y (iii) el SCH del norte como unidad de manejo. El editorial concluye con propuestas acerca de los retos y de las futuros direcciones para la investigación y el manejo en ciertos escenarios predichos en el contexto del cambio global del clima.

Palabras clave: Norte del Sistema de la Corriente de Humboldt, enfoques multidisciplinarios, productividad, zona del mínimo de oxígeno, variabilidad del clima y del ecosistema, anchoveta, manejo de pesquerías.

Introducción

El océano tropical de la costa oeste de Sud América es notable por muchas razones. Primero es inusualmente frío para un océano que está tan cerca del ecuador con temperaturas de superficie en las latitudes de 5°S, tan frías como 16°C cuando la mayoría de otros lugares tienen supera los 25°C. El afloramiento de las aguas frías trae los nutrientes hacia el fitoplancton a la superficie, incrementando dramáticamente la productividad biológica en esta región de baja-latitud que tiene sol todo el año y muy pocas lluvias. Segundo, como resultado de la alta productividad, el norte del Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) frente al Perú produce más peces por unidad de área que cualquier otra región oceánica del mundo (Fig. 1). Representando menos de 0.1% de la superficie mundial del océano, el SCH produce alrededor del 10% de la captura mundial de peces. Tercero, como resultado de la precipitación de materia orgánica derivados de la producción primaria superficial, así como de una pobre ventilación, existe una extensa y extremadamente superficial Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) ubicada debajo de esta aguas oxigenadas superficiales. La ZMO es una barrera para muchos animales por los que muchos se concentran cerca de la superficie. En el otro extremo del espectro diferentes formas de vida marina se han adaptado a este duro medio el que utilizan como zona de refugio de predadores. La ZMO también afecta la acumulación de nutrientes globales porque las bacterias usan el nitrato en vez de oxígeno como receptor terminal de electrones. Cuarto, debajo la ZMO, en los sedimentos de la plataforma continental la ausencia de oxígeno preserva organismos muertos, creando un récord del ecosistema pasado y de los cambios climáticos. Quinto, a través del acoplamiento atmósfera/océano el SCH está íntimamente vinculado a las dinámicas del Pacífico ecuatorial y está sujeto a grandes fluctuaciones interanuales a multidecadales en el clima, los ecosistemas y sus pesquerías

Las nuevas capacidades de observación *in-situ* así como las herramientas satelitales, las series de datos multidisciplinarias de largo plazo, las nuevas capacidades analíticas y los progresos en el modelaje han abierto nuevas ventanas para entender las dinámicas del SCH del norte. El manejo de la pesquería también se está desarrollándose desde el enfoque mono-específico hasta un enfoque donde el ecosistema es la unidad de manejo. Este enfoque holístico parece ser particularmente apropiado para el SCH del norte donde la fuerte variabilidad temporal incluyendo El Niño, la Oscilación del Pacífico Decadal (OPD o El Viejo/La Vieja) y los cambios globales, constituyen un gran reto. Dentro de este contexto existió una clara necesidad de empezar una nueva integración y síntesis del conocimiento sobre el Sistema de la Corriente de Humboldt. La presente recolección de documentos de investigación se han obtenido de la "Conferencia Internacional sobre el Sistema de la Corriente de Humboldt: Clima, dinámicas de los océanos, procesos de ecosistema y pesquerías" organizada por el Institut de Recherche pour le Développement (IRD), el Instituto del mar del Perú (IMARPE) y la Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en Lima a fines del 2006 que realzaron estos desarrollos. En este documento introductorio proporcionamos un breve panorama de la historia "ecológica y socio económica" del SCH del norte. Los trabajos se han introducido en el contexto de: 1) los impactos de los ritmos del medio ambiente natural y la explotación humana; 2) nuevas observaciones y modelos; y 3) el ecosistema como unidad de manejo. Una sección sobre futuras direcciones de investigación finaliza la

introducción de esta edición especial. Los documentos en la edición especial están organizados empezando con la física y la química, luego la biología trófica. Estos trabajos, basados principalmente en datos, son seguidos por otros enfocados en el modelaje y presentando finalmente los documentos socio-económicos.

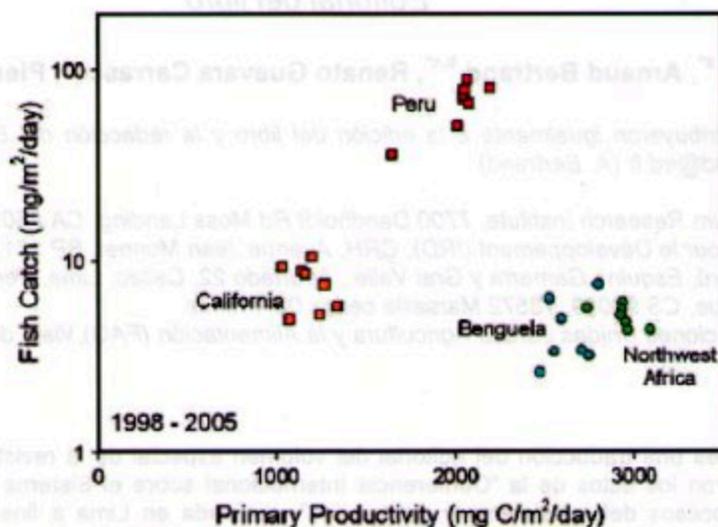


Fig. 1. Fish catch versus primary productivity for the four main eastern boundary coastal upwelling ecosystems for the years 1998–2005. It was assumed that the reported fish catches (Fish and Agriculture Organization, FAO) were made within 100 km from the coast. The catches were then normalized by area. Primary productivity was estimated from satellite remote sensing of chlorophyll and the Behrenfeld and Falkowski (1997) model. Even during the El Niño year of 1998 Peru fish catch still exceeded that from the other areas by several fold. Is Peru exceedingly efficient in the transfer of primary production to fish or are Benguela and Northwest Africa exceedingly inefficient?

Breve historia de la ecología y explotación de los recursos marinos vivos

Las primeras descripciones "artísticas" de la riqueza biológica del SCH del norte y su importancia para los humanos puede ser encontrada en las cerámicas dejadas por los nativos Sud Americanos antes de que América fuera descubierta por los Europeos (Rostworowski, 2005). Las comunidades costeras Pre Inca e Inca dependieron mayormente de los recursos marinos para su sobrevivencia. El mundo moderno supo de la increíble productividad biológica del SCH del norte con el descubrimiento de los grandes depósitos de desechos de las aves marinas o sea del guano (Cushman, 2003). La extracción del excremento de las aves marinas (guano, derivado de una palabra Inca, procede principalmente del cormorante *Phalacrocorax bougainvillii*, cuyo nombre común es el Guanay) usado para fertilizar, el cual jugó un rol importante en la economía Peruana. El guano era exportado a nivel mundial y cumplió un rol en la sobrevivencia de los Europeos durante el siglo 19. La primera entidad científica de biología marina en el Perú, fue el Laboratorio de Biología Marina en la Compañía Administradora del Guano que estudió y preservó este importante recurso. Con la ayuda de científicos internacionales la primera perspectiva sobre el ecosistema del SCH fue publicada en 1948 ocupando las aves marinas un rol central (Fig. 2). Durante los 40's y 50's se desarrolló una pesquería sobre especies como el bonito (*Sarda chilensis chilensis*) y el atún (especialmente *el Thunnus albacora*) debido a la gran demanda del aceite del hígado de estas especies en el mercado de los EEUU durante la Segunda Guerra Mundial y más tarde en la Guerra de Corea. El final de la Guerra de Corea incrementó la demanda del guano coincidiendo con un El Niño de 1957-58 muy fuerte, lo cual causó una gran disminución en la población de aves marinas. La pesquería de anchoveta (*Engraulis ringens*) empezó alrededor del mismo periodo en 1955. Este fue un periodo importante para el ecosistema, tal como manifestaron los administradores, la duda se basaba en si el objetivo primario era, las aves marinas (guano) o la anchoveta (harina de pescado). En 1954 la Marina Peruana con la ayuda de la Compañía Administradora del Guano y un grupo de personas interesadas en la pesquería y la caza fundaron el Consejo de Investigaciones Hidrobiológicas (CIH). El CIH estaba orientado a coordinar e intensificar los estudios hidrobiológicos teniendo como propósito mejorar el uso y el sostenimiento de los recursos marinos vivos. En 1959, conforme la pesquería de la anchoveta continuaba desarrollándose, el Perú solicitó el apoyo técnico de la Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para el CIH en fin de desarrollar un Plan Nacional de Pesquería. Luego se creó el Instituto de Investigación de los Recursos Marinos (IREMAR) con programas relacionados a la oceanografía, biología pesquera, biología de ballenas, economía y tecnología pesquera. En su informe final la FAO recomendó la fusión del CIH y el IREMAR en una sola institución. Por lo tanto en julio de 1964 se creó el Instituto del Mar del Perú, (IMARPE). Un grupo de los primeros científicos de IMARPE, tuvo sus raíces en el Departamento de Biología de la Compañía Administradora del Guano. IMARPE continúa hasta la fecha efectuando investigación en SCH del norte y en sus pesquerías.

La pesquería de la anchoveta continuó creciendo durante los 60's hasta un pico de captura de 12 millones de toneladas por año llegando a ser el 20% de la captura mundial. El documento de Ryther (1969), concierne a la productividad primaria, niveles tróficos y productividad pesquera en los ecosistemas de afloramiento, fue desarrollado sobre la base de una expedición al Perú, durante este periodo de captura récord. Sin embargo, siete años después de la formación de IMARPE, la población de anchoveta colapsó, durante El Niño de 1972. El colapso condujo a un vigoroso debate científico acerca de las diferentes causas posibles: variabilidad natural del clima o sobre-pesca. Durante mediados de los 80's se produjo una síntesis sobresaliente sobre las dinámicas del Ecosistema de Afloramiento Peruano enfocada hacia la anchoveta y su decrecimiento. Esta síntesis fue producida por IMARPE conjuntamente con ICLARM (ahora El Centro de Pesca Mundial) y la *Deutsch Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)* y publicada como resultado de conferencias realizadas en 1987 y 1989 (Pauly y Tsukayama, 1987; Pauly et al., 1989). Estas publicaciones continúan siendo referencias claves para el SCH del norte. Desde los 80's los avances técnicos importantes han transformado muchas áreas de las ciencias marinas. Estos avances han clarificado importantes vínculos e informaciones sobre los resultados de procesos entre el clima, la circulación del océano, los ciclos biogeoquímicos, las cadenas tróficas y la producción de peces. Adicionalmente series de datos de tiempo sobre largas-décadas, están revelando actualmente, la variabilidad medio ambiental y climática, mas allá de la escala interanual de El Niño.

Impactos de los ritmos del medio ambiente natural y de la explotación humana en el ecosistema

La región norte del SCH es la región donde El Niño, y la variabilidad del clima es más notable (Fig. 3). Anormalidades mayores a 10°C de la temperatura superficial del mar (TSM) se han observado durante eventos fuertes, de El Niño (Barber y Chávez, 1983). Los eventos El Niño modernos incluyen aquellos que empezaron en el 1925, 1941, 1957, 1982 y 1997. Fue el fuerte El Niño de 1957-58 que llevó al convencimiento que El Niño era algo mas que sólo la intensificación de una corriente costera tropical (Chávez, 1986) y que éste estaba vinculado a los cambios en la atmósfera global (Bjerknes, 1986). El Niño 1957-58 causó una fuerte disminución en las aves marinas (ver Fig. 1 de Chávez et al., 2003 y Jahncke et al., 2004) y contribuyó como se describe anteriormente, al desarrollo de las más intensas y exitosas pesquerías en el mundo. Fue en El Niño de 1972, que se asoció éste a una gran y persistente declinación en la anchoveta. Este colapso inicio vigorosos debates sobre las razones por las cuales la anchoveta disminuyó: variabilidad climática natural o sobre pesca. Los siguientes 15-20 años vieron un dramático ascenso en las poblaciones de sardinas (*Sardinops sagax*). Les tomó cerca de 10 años a los científicos notar que el mismo tipo de variabilidad estaba siendo experimentado fuera de California y Japón (Kawasaki, 1983; Lluch-Belda et al., 1992) y 30 años antes que un fenómeno climático de mayor duración (~ 50 años) (Mantua et al., 1997) fuera implicado en las fluctuaciones de anchoveta y sardina (Chávez et al., 2003; Alheit y Niquen, 2004). Estos cambios de gran escala y de largo plazo en los ecosistemas del Pacífico, fueron ampliamente conocidos como "cambios de régimen". El tema continúa siendo ampliamente debatido; una línea de corriente de

pensamiento es que el Pacífico Este pasó de un Pacífico Este frío (La Vieja) a un Pacífico Este más caliente (El Viejo) a principios de los 70's y luego nuevamente a un Pacífico Este frío a mediados de 1990 (Fig. 3). Muchos trabajos en este libro examinan los cambios que ocurrieron durante este período (Ayón et al., 2008-b; Bakun y Weeks, 2008; Bertrand et al., 2008-b; Guenette et al., 2008; Swartzman et al., 2008). Finalmente información recolectada de sedimentos anóxicos fuera del Perú y Chile ha permitido descubrir cambios aun más dramáticos a más largo plazo (Gutiérrez et al., en prensa; Siddefine et al., 2008; Valdés et al., 2008). Durante la Pequeña Edad de Hielo (PEH) la productividad primaria fue baja en el SCH del norte, la ZMO estuvo más oxigenada y la abundancia en pequeños peces pelágicos fue muy reducida. Esto cambió a finales de la PEH, circa 1820, hacia las condiciones actuales: alta productividad primaria, ZMO muy intensa y superficial y abundantes peces pelágicos pequeños. Este cambio de súper régimen mostró que tanto la anchoveta como la sardina fueron favorecidas después de 1820. La variabilidad multi-decadal (*sensu* Chávez et al., 2003) era aún aparente, pero ensombrecido por los cambios a escala centenal. ¿Son estas tendencias continuas, qué sucederá con el cambio de clima (Fig. 3) y cómo influirán los cambios futuros en las capturas de los recursos marinos vivos? ¿Existirán en tiempos futuros otros drásticos cambios de régimen como los que hubieron a finales de la PEH? ¿Están los niveles extremadamente altos de producción de peces asociados a los disturbios ecológicos debidos a las fluctuaciones interanual o multi-decadal del clima? ¿Explica la variabilidad medio ambiental la 'paradoja de la anchoveta' peruana: porqué la abundancia y producción de peces en el SCH del norte es mucho más alta que en otros ecosistemas costeros de afloramiento (Fig. 2)? Estas preguntas formarán la base de futura investigación.

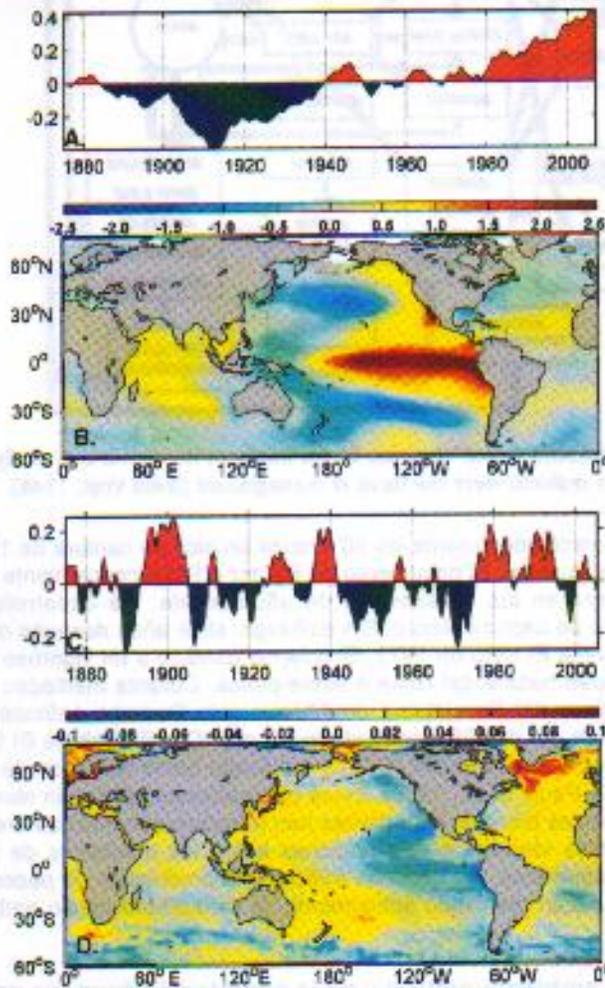


Fig. 3. Top panel shows the trend in sea surface temperature (SST) for the global ocean in 2×2 degree bins from 1875 to 2007. The warming over the last several decades is notable. The first empirical orthogonal function (EOF) of the SST time series was calculated after the trend and the seasonal cycle were removed (La Manina et al., 1997 for the Pacific Decadal Oscillation). The second panel shows the spatial pattern of the EOF with the northern HCS showing the highest variance relative to any coastal area of the world ocean. The time series of the EOF is shown in the third panel with a warm eastern Pacific from the mid 1970s to the mid 1990s. The bottom panel shows the trend of SST in 1×1 degree bins from 1981 to June 2008. Over this period, and primarily over the last decade the eastern Pacific, and the northern HCS in particular, has cooled (negative trend) while the majority of the ocean warmed. The long term SST records are from Woodruff et al. (2006) and the recent SST trend from Reynolds et al. (2007).

Nuevas observaciones y modelos

Esta sección realiza los nuevos descubrimientos relacionados con los recursos marinos vivos y el medio ambiente que son una parte integral del trabajo de Bertrand et al. (2008-a) que enseñaron como la anchoveta es impactada por procesos que ocurren a lo largo de un espectro de escalas espaciotemporales. Estos procesos incluyen ondas internas con períodos de minutos y rango de metros a las variaciones globales del clima global con períodos interanuales a centenales. Un esfuerzo observacional de multi-escalas (metro hasta la costa entera) permitió a Bertrand et al. (2008-a) de construir un modelo conceptual con implicaciones de manejo. Los aspectos novedosos y relevantes vienen de las investigaciones de pequeña escala que enseñan como la anchoveta y otros componentes del ecosistema se 'organizan' en función al panorama medio

ambiental que varia rápidamente. También los animales dejan su huella en el medio ambiente físico como se evidencia de las mediciones de la presión parcial del dióxido de carbono (pCO_2). Otro ejemplo de observación a pequeña escala con impactos significativos en las dinámicas del ecosistema, se relaciona con la dieta de la anchoveta. Estudios previos han mostrado un dominio numérico del fitoplancton en los contenidos estomacales (ej. Pauly et al., 1989b; Rojas de Mendiola, 1989) que han conducido a la creencia que las grandes poblaciones de anchoveta eran soportadas por una inusualmente corta y eficiente cadena alimentaria (Ryther, 1969). Del análisis de un gran número de contenidos estomacales y, más importantes, por la conversión de los contenidos a equivalentes de carbono, Espinoza y Bertrand (2008) mostraron que la fuente más importante de calorías para la anchoveta es el zooplancton – principalmente eufausidos y copépodos grandes. La anchoveta, como se indica por su típico intestino largo de organismos herbívoros, consume también fitoplancton para obtener nutrientes importantes pero su fuente principal de energía es el zooplancton. Esta nueva información cambia los paradigmas previamente desarrollados para el funcionamiento del SCH del norte. Las preguntas que vienen rápidamente a la mente son: ¿Hay más zooplancton fuera del Perú, que en cualquier otro sistema de afloramiento costero? O tal vez, el zooplancton está más concentrado y disponible para la anchoveta? Ayón et al. (2008-a) proporcionan una revisión de la investigación sobre el zooplancton en el SCH del norte y deja en claro que nuevas tecnologías se requieren para tratar con las dificultades del muestreo del zooplancton.

Un modelo para la colonización del hábitat pelágico sugiere que los peces colonizan primero el hábitat más favorable y luego se extienden hacia hábitats menos favorables conforme las poblaciones se expanden (MacCall, 1990). Sin embargo la información recolectada para la anchoveta sugiere un vínculo fuerte hacia masas de aguas particulares, prescindiendo del tamaño de la población (Bertrand et al., 2004; Swartzman et al., 2008). La salinidad es un buen indicador para las masas de agua que favorecen a la anchoveta, las Aguas Costeras Frias (de afloramiento) (ACF), ya que la anchoveta es abundante y capaz de alimentarse sobre un amplio rango de temperatura ($14^{\circ}C - 23^{\circ}C$, Gutiérrez et al., 2008). Las sardinas parecen distribuirse más en las Aguas Subtropicales de Superficie (ASS) aunque su afinidad no es tan fuerte como la de la anchoveta para las ACF (Swartzman et al., 2008). Las ACF están asociadas con una oxiclina superficial que puede favorecer a la anchoveta. La estructura de tamaño del plancton también es diferente con plancton más grande en las ACF (muchos nutrientes) y plancton más pequeño en las ASS (más oligotrófico).

Dentro de su hábitat de las ACF (Swartzman et al., 2008), la anchoveta (i) encuentra eficientemente sus presas bajo una gran variedad de condiciones medioambientales (Espinoza y Bertrand, 2008), (ii) utiliza alimentos de varios niveles tróficos y selecciona los alimentos más energéticos (Espinoza y Bertrand, 2008), (iii) es capaz de concentrarse en áreas de refugio cuando las condiciones son adversas (Bertrand et al., 2004), (iv) puede adaptar su comportamiento reproductivo (Buitrón y Perea, 2000), y (v) se distribuye sobre un gran rango de temperatura (Gutiérrez et al., 2008-b). Esta combinación de características puede ayudar a explicar la 'paradoja de la anchoveta peruana': cómo la anchoveta logra enormes concentraciones cuando (i) solo es capaz de realizar migraciones muy cortas y por lo tanto no pueden escapar activamente de las condiciones adversas, y (ii) están mayormente distribuidas en agregaciones densas en superficie, tienen reacciones de escape lentas y son altamente accesibles a los predadores (peces, cefalópodos, aves, mamíferos y pescadores) (Gerlotto et al., 2008).

Bakun y Weeks (2008) sugieren dos procesos que podrían explicar la dramática productividad del norte del SCH. El norte del SCH es el sistema de afloramiento que se encuentra más cercano al ecuador, siendo también una región de relativamente débiles pero estables vientos favorables al afloramiento. Debido a su proximidad al ecuador, el área de afloramiento es grande de manera que aún con vientos débiles, grandes cantidades de nutrientes afloran con baja turbulencia. Bajo estas condiciones, la llamada 'ventana medioambiental' (Cury y Roy, 1989) para la producción de peces está optimizada. Segundo, Bakun y Weeks (2008) postulan que, debido a su cercanía, la conexión entre Perú y el Pacífico ecuatorial expone a la región a una fuerte variabilidad interanual. Las esporádicas y recurrentes desorganizaciones o "reset" del ecosistema podrían favorecer el crecimiento rápido de poblaciones 'r' como la anchoveta (Chávez, 1987). Chaigneau et al. (2008) son los primeros en analizar la actividad de los remolinos de meso-escala frente al Perú a partir de 15 años de datos de altimetría y sorprendentemente encontraron una más alta actividad durante El Niño 1997-1998. El siguiente paso sería comparar la actividad de los remolinos entre los distintos sistemas de afloramiento del mundo.

El rol del océano en modular el aumento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera ha conducido a un crecimiento explosivo de medidas regionales de pCO_2 a la superficie del mar. Basándose principalmente en las observaciones frente a la costa de Oregon, Hales et al. (2005) sugirieron que los sistemas de afloramiento costero atrapaban el CO_2 atmosférico. Observaciones en la costa del Perú, reportadas por Friederich et al. (2008) no concuerdan con aquella generalización y muestran que el norte del SCH es una gran fuente de CO_2 para la atmósfera. Los autores sugieren varios factores que podrían contribuir al alto nivel de pCO_2 de la superficie del mar, el que está bien por encima del nivel en la atmósfera a pesar de la elevada captación de CO_2 por el fitoplancton: (i) las fuentes de agua de afloramiento son afectadas por la desnitrificación de la ZMO y contienen poco nitrato pre-formado y un exceso de carbono inorgánico en relación con el nitrógeno; (ii) la producción primaria es limitada por falta de hierro y (iii) el calentamiento rápido de la superficie del mar que reduce la solubilidad del CO_2 . En un estudio de modelaje, Echevin et al. (2008) han logrado reproducir un ciclo estacional de clorofila que está fuera de fase con el ciclo de afloramiento estacional y los nutrientes (Pennington, et al., 2006). Los autores concluyen que cualquier limitación de luz o de hierro (o ambas) puede ser responsable de la relación fuera de fase. Claramente, el tema de regulación de la productividad primaria en el norte del SCH, requiere mayor estudio.

En otro estudio en el que se combina observación y modelaje, Bertrand et al. (2008-b) mostraron el impacto de las Ondas Kelvin (OK) sobre la distribución de la anchoveta y su principal consumidor, los pescadores. Nuevas herramientas como el sistema de seguimiento por satélite (SISESAT) de los barcos, proporciona rutinariamente las posiciones de los barcos de pesca en tiempo real. Bertrand et al. (2008-b) combinan información de SISESAT, datos oceanográficos y salidas de modelo para mostrar que el efecto de una onda de Kelvin de gran escala tiene un efecto detectable y significativo en la organización espacial de los componentes del ecosistema, incluyendo las distribuciones de la anchoveta y de los pescadores. Estos resultados proporcionan evidencia para un control "bottom up" del sistema via 'cascadas comportamentales' (ver Frontier, 1987 y Russel, 1992) lo que permite producir "escenarios de ecosistema" contrastados bajo condiciones de ondas de Kelvin de "upwelling" (tipo Niña) o de "downwelling" (tipo Niño).

En el SCH del norte, el control 'bottom-up' es evidente, en escalas de tiempo interanual (Barber y Chávez, 1983), multidecadal (Chávez et al., 2003; Alheit y Niquen, 2004) y centenal (Gutierrez et al., en prensa; Siffedine et al., 2008; Valdés et al., 2008). Este control 'bottom-up' observado a partir de información *in situ* fue también simulada con los modelos tróficos a la escala de una bahía (Taylor et al., 2008-b) y de todo el SCH del norte (Taylor et al., 2008-a). El ejemplo proporcionado por Bertrand et al. (2008-b) explica claramente que también existe un control 'bottom up' a escala de tiempo inter-estacional. Sin embargo se puede preguntar si también existen controles 'top-down'. En efecto, las grandes concentraciones de peces que se alimentan de plancton, podrían conducir a un control 'top-down' según la hipótesis de cintura de avispa o 'wasp-waist' (Cury et al., 2000; Cury et al., 2003). Ayón et al., (2008-b) combinaron datos de zooplancton (1961 – 2005), observaciones acústicas obtenidas de 40 cruceros pelágicos (1983 – 2005) y estadísticas peruanas de desembarque (1961 – 2005), y mostraron que, a escala regional, el zooplancton y la anchoveta fluctuaron en fase ('bottom-up') pero que la presencia de cardúmenes densos de anchoveta indujeron a menudo a una reducción local en la abundancia de zooplancton (sin llegar a un control 'top-down').

Un área de progreso explosivo durante las últimas décadas ha sido en el desarrollo y uso de modelos numéricos. El rol de los modelos en la investigación y manejo tiene diferentes lazos. Primero, sirven para examinar nuestro entendimiento de cómo funcionan los ecosistemas. ¿Cuáles son los principales procesos, porqué son como son, porqué cambian etc.? Los modelos conducen a nuevas observaciones, mejor entendimiento, nuevas reglas de ecosistemas y repetidamente hacia modelos mejorados. Segundo, los modelos sirven como integradores e interpoladores de información dispersa. Debido a sus retos a la observación (ej. opacidad de la luz), el océano se mantendrá siempre sub muestreado; los modelos pueden generar panoramas del sistema que son en muchas formas análogos a las imágenes del satélite pero en tres dimensiones. Finalmente, dado al progreso científico los modelos pueden ayudar a pronosticar el futuro y predecir respuestas ecológicas a la variabilidad natural del clima y al cambio global. Mientras que los modelos son una parte integral del futuro, es también importante considerar sus fallas actuales. La calidad de un modelo (aquí definida como la habilidad para simular el ecosistema de manera realista) es directamente proporcional a la cantidad de datos disponibles *in situ*. El SCH del norte, con sus importantes bases de datos, es una región ideal para el desarrollo y uso de modelos. Modelos físicos (océano y atmósfera) están normalmente más avanzados que los modelos ecológicos. En efecto el número de variables necesarias para los modelos físicos (temperatura y salinidad) es mucho menor en comparación con lo que hace falta para los modelos biológicos (un número potencialmente ilimitado), lo que aumenta la complejidad y el costo. Finalmente, los modelos solo están disponibles para simular los procesos conocidos para cuales ecuaciones han sido desarrollados; nuevos procesos o errores significativos en la teoría ecológica son obviamente problemas para una predicción precisa. Un ejemplo es enseñado por Espinoza y Bertrand (2008) que mostraron que en término energético la anchoveta se alimenta principalmente de eufausidos y copépodos grandes cuando los modelos tróficos pueden ser balanceados para simular dinámicas de largo plazo del ecosistema, usando el fitoplancton como mayor fuente de alimento para la anchoveta. Eso significa que o la dieta de la anchoveta no es un parámetro clave en el funcionamiento de los ecosistemas o que quedan problemas fundamentales en los modelos actuales. Es evidente que el modelaje continuará avanzando en paralelo y con la aparición de nuevas observaciones.

Los modelos pueden organizarse en varias categorías. Primero, existen modelos sobre la física del océano. Estos modelos son basados sobre las fuerzas atmosféricas (calor y viento) típicamente proporcionados por los datos de modelos de asimilación atmosférica. La resolución del modelo (de metros a kilómetros en el plano horizontal y metros en el plano vertical) está usualmente limitado por el poder computacional y la resolución de los parámetros atmosféricos. Un modelo ampliamente usado en el SCH del norte es el Sistema del modelaje Regional Oceánico (ROMS; Colas et al., 2008) aunque ciertamente no es el único (ver Dewitte et al., 2008). Los modelos simples del ecosistema pelágico referidos como NPZ (por Nutriente, Fitoplancton, Zooplancton) fueron primeramente conceptualizados en 1940 (Riley, 1964) y han sido directamente acoplados a los modelos de circulación física como ROMS (ej. Echevin et al., 2008). Las formulaciones originales tienen un grupo de fitoplancton y uno de zooplancton, pero con el propósito de simular la distribución global de la clorofila tal como observada por satélite fue necesario incluir dos clases de tamaños de fitoplancton y zooplancton. Este tipo de modelo de ecosistema es actualmente el más común y es capaz de simular la red trófica basada en plancton pequeño (oceánica) y la basada en plancton grande (costera). El agregar el NPZ a un modelo físico aumenta los requerimientos computacionales por lo menos a cinco veces. Una debilidad actual de los modelos acoplados es la falta de datos de zooplancton para la validación. Las salidas de los modelos acoplados puede ser usado para desarrollar Modelos Basados en Individuos (MBI) donde una sola especie es seguida en el tiempo: el modelo acoplado proporciona la información necesaria para estimar el crecimiento fisiológico (temperatura) y energético (PZ); las pérdidas por predación son proporcionadas externamente (ej. Brochier et al., 2008). El grupo final de modelo enfoca sobre interacciones tróficas, siendo los más populares aquellos de la familia ECOPATH (Christensen y Pauly, 1992; Walters et al., 2007). En esta edición varios trabajos aplican estos modelos (Guenette et al., 2008; Walters et al., 2008; Taylor et al., 2008-a y b). Estos modelos son capaces de considerar un amplio número de niveles tróficos y de componentes, pero, debido a su complejidad no son capaces de resolver el tiempo o espacio con la necesaria resolución. El tiempo y espacio son tratados en forma discreta, por ejemplo El Niño versus condiciones 'normales' (ej. Tam et al., 2008 y Taylor et al., 2008-a). Versiones mas nuevas incluyen la habilidad de tratar el tiempo y espacio más explícitamente pero no al nivel de los modelos acoplados. Además, hay generalmente poca información *in situ* disponible sobre los compartimentos tróficos. Una nueva generación de modelos tiende a encajar los modelos tróficos en los modelos 3D acoplados descritos arriba (Fulton et al. 2004; Travers et al., 2007) pero estos tienen que ser aún aplicados al SCH del norte.

El norte del Sistema de la Corriente de Humboldt como una unidad de manejo

En las últimas décadas, las investigaciones sobre el SCH del norte se han enfocado sobre algunas especies explotadas, como es el caso de la anchoveta, la sardina, el jurel (*Trachurus murphyi*), la caballa (*Scomber japonicus*), la merluza (*Merluccius gayi*) y recientemente el calamar gigante o 'pota' (*Dosidicus gigas*) (Fig. 4).

Como se puede observar en la Figura 4, los desembarques han fluctuado dramáticamente durante las últimas décadas debido a la gran variabilidad anual del SCH del norte (Fig. 3). ¿Es el ecosistema más sensible a la variabilidad ambiental debido a su explotación por parte del hombre? El enfoque ecosistémico de las pesquerías (EEP) (FAO, 1995) resalta la importancia de manejar los recursos considerando al ecosistema como un todo en el cual las poblaciones explotadas y sus pescadores son parte integral. Se espera que el manejo del sistema con tal información facilite la sostenibilidad de los stocks a largo plazo, entendiendo y protegiendo el ecosistema del cual dependen los peces y al mismo tiempo maximizando los beneficios económicos y sociales y previniendo el malgasto de los recursos económicos. El EEP y el Manejo Basado en el Ecosistema (MBE) tienen y continuarán teniendo una difícil tarea debido a que los recursos, tecnologías y teorías de manejo no están aún al nivel necesario para implementar efectivamente estos sistemas. Sin embargo, debido a su sistema único de monitoreo, al buen conocimiento de su variabilidad climática y al continuo desarrollo de la teoría ecológica (bien resumida en esta edición especial) el SCH del norte es un fuerte candidato para este enfoque.

Rutinariamente, Información sobre física (temperatura, salinidad), química (nutrientes y oxígeno) y biología (clorofila, bio-volumen del zooplancton) ha sido y continúa siendo colectada. Más esfuerzos están puestos aun en la observación y muestreo de los recursos vivos. La evolución de las capacidades tecnológicas, incluyendo el marcaje y seguimiento de animales (marcas modernas también pueden colectar información ambiental) ayudaran a mejorar el conocimiento sobre la abundancia y distribución de especies carismáticas y a veces amenazadas (ej. aves marinas, mamíferos marinos, atunes, tortugas, etc.). La frontera final radica en el meso y macrozooplancton (copépodos, eufausidos, crustáceos grandes, larvas de peces) y en los peces pequeños, todos con su comportamiento característico.

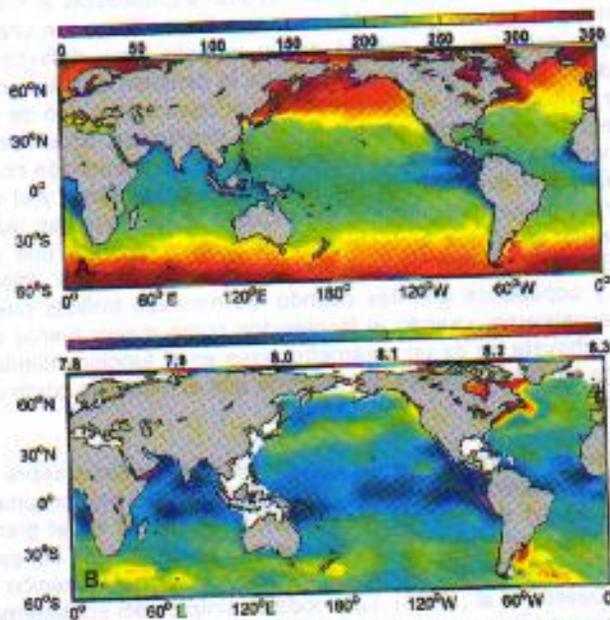


Fig. 5. Global distributions of 50 meter oxygen ($\mu\text{mol/l}$, top) and pH (bottom). Note the very low oxygen and pH at this shallow depth off the northern HCS. The oxygen is from Cooklight et al. (2002). The pH was calculated from total carbon dioxide and alkalinity found in the GLODAP database (Key et al. 2004) and temperature and salinity in Cooklight et al. (2002).

Avances tecnológicos en acústica, han facilitado la colección de información sobre el meso, el macrozooplancton (copépodos, eufausidos, crustáceos grandes, larvas de peces) y pequeños peces. Actualmente, la acústica puede proporcionar datos cualitativos y cuantitativos sobre diferentes especies: desde zooplancton hasta grandes peces y mamíferos e inclusive permite estudiar las interacciones entre ellos (Bertrand et al., 2008a). La acústica ha sido usada para documentar los cambios dramáticos en la población de munida *Pleurocnocodes monodon* (macro-zooplancton) después de El Niño de 1997-98 (Gutiérrez et al., 2008b). Esta especie ha sido explotada por décadas en la parte central de Chile, en la cual su población adulta tiene un comportamiento demersal. Rara vez observada en concentraciones grandes frente al Perú, la población de munida ha experimentado un crecimiento exponencial, presumiblemente en respuesta a las tendencias de enfriamiento (Fig. 3); durante el período 1998-2005 los estimados acústicos de biomasa de munida tienen un rango de 0.6 a 3.4 millones de toneladas. El incremento de la población y rango de distribución de esta especie fue acompañado por un cambio en su ecología, llegando en el Perú a un ciclo completo de vida pelágica. Esto debido a que la intensidad de la zona de mínima de oxígeno (ZMO) restringe su hábitat demersal. Tal como se describió previamente, la munida no solo aumentó en abundancia, pero también extendió su rango de distribución hacia el ecuador a medida de que el Pacífico Este se fue enfriando durante La Vieja (Fig. 3). ¿Pero es realmente La Vieja o es el principio de los efectos inducidos por el hombre los causantes del calentamiento global? El calentamiento global puede calentar de manera distinta la tierra y el mar, intensificar los vientos costeros de afloramiento (Bakun, 1990) y tal vez enfriar las regiones costeras de afloramiento aun dentro de una fase de calentamiento global general (Fig. 3). La acústica permitió a Gutiérrez et al (2008b) observar simultáneamente la munida y la anchoveta y los datos mostraron claramente que con frecuencia ambas especies comparten el mismo hábitat. Los cambios climáticos han resultado en un medio ambiente donde estas dos especies ahora se superponen aun cuando la munida está restringida a la parte más fría de las ACF mientras anchoveta tolera un rango más amplio de temperatura. La anchoveta y la munida son presas de predadores superiores y ambas se alimentan de organismos planctónicos similares. La munida preda sobre huevos y larvas de anchoveta, por lo que su afinidad por el

mismo hábitat tiene consecuencias ecológicas potencialmente importantes. Es crítica entonces mayor información sobre eufausidos, presa clave de la anchoveta. Los equipos acústicos actuales solo pueden ser usados de manera rutinaria en los barcos pero existe la esperanza que los equipos y tecnologías usadas para el censo de zooplancton puedan ser adaptados para usarlas en plataformas autónomas (boyas, anclas, deslizadores).

Anderson et al. (2008) han mostrado que la pesca comercial hace caer la talla promedio y la edad de madurez de un stock de peces explotado. Esto puede conducir a truncar la edad o mantener la población muy joven lo que las hace muy inestables. La merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus*) ha sido intensamente explotada desde el principio de los 70s y muestra una población dominada por juveniles con disminución drástica de talla y edad de maduración, en la que el porcentaje de merluzas maduras de 2 años cambio de casi cero durante los 80s a más del 60% durante los 2000s (Guevara-Carrasco y Leonart, 2008; Ballón et al., 2008). Ballón et al. (2008) mostraron que las pocas hembras grandes restantes en la población invierten poca energía en la producción de huevos. La falta de machos en la población podría significar una limitación de esperma. Además la falta de feromonas de los machos podría inhibir el desove de las hembras y llevar a estas re-allocar la energía destinada a reproducción en crecer o sobrevivir. No es sorprendente entonces, que las hembras grandes tengan altos factores de condición y bajos índices gonadosomáticos cuando los machos grandes son escasos. El hábitat de la merluza está restringido al norte del Perú donde las aguas son ventiladas (y oxigenadas) por la contracorriente Ecuatorial. Ballón et al (2008) también mostró que El Niño afecta negativamente los factores de condición y reproductivos aun cuando El Niño aumenta el rango de distribución geográfico y el hábitat de la merluza debido a la oxigenación de las aguas del centro y sur del Perú (Espino, 1990). Estos resultados con la merluza ilustran como la pesquería y la variabilidad del medio ambiente puede interactuar e impactar a las poblaciones de manera compleja e inesperada

Además de los factores arriba indicados, el calamar gigante (pota), un importante predador de la merluza (Zeidberg y Robinson, 2007) parece haber aumentado en abundancia durante la última década (Fig. 4C). Arguelles et al. (2008) mostraron que durante 1989-1999, la talla mediana de maduración de pota (*Dosidicus gigas*) era mínima (40 cm) pero desde 2001 en adelante la talla de maduración fue mucho mayor (80 cm). Según Arguelles et al. (2008), el cambio de talla y el incremento en abundancia fue causado por un aumento paralelo de los peces mesopelágicos (en especial el pez linterna) que son presa para el calamar gigante. El aumento del tamaño también sugiere que los calamares no están sobre explotados en el norte del SCH. Al revés de la merluza, el calamar es una especie 'r' que crece muy rápido (como la anchoveta) y por lo tanto es mas resistente a las presiones pesqueras. La pota no solo ha aumentado rápidamente frente al Perú sino también en México y Estados Unidos (Zeidberg y Robinson, 2007; Bogard et al., 2006). Bogard et al. (2008) sugieren que los cambios en la distribución geográfica del calamar gigante pueden estar relacionados con la expansión de la ZMO del Pacífico este. Si se verifica, la merluza podrá ser más impactada a futuro, ya que la pequeña área de alta productividad y oxígeno frente al norte del Perú (4-6°s) está siendo medrada causando la reducción de esta.

En el SCH del norte frente al Perú, las decisiones sobre las pesquerías son tomadas en tiempo casi real usando las observaciones más recientes. Es probable que éste sea el único lugar en el mundo donde este estilo de manejo 'adaptativo' sea posible ya que en otras condiciones, la burocracia gubernamental y la lentitud en los análisis de información generalmente se traducen en implementación de decisiones de manejo para condiciones y problemas de ayer. Sin embargo, existe aún la necesidad de predicciones confiables sobre las futuras condiciones para apoyar los procesos de toma de decisiones. Esto debe incluir nuestro desarrollo del entendimiento de las variaciones climáticas inter anuales, multidecadales y centenales. Los efectos de la predicción climática sobre los stocks pesqueros es claramente una tarea intimidante, pero esta debe ser un área de énfasis continuo. Las ondas Kelvin y la variabilidad interanual son áreas donde las ganancias inmediatas son posibles. Como lo han demostrado Bertrand et al. (2008-b) en el norte del ecosistema SCH existe una respuesta a las ondas de kelvin. Estimuladas en el Pacífico oeste ecuatorial, estas ondas son observadas por altimetría y las redes de boyas TOGA-TAO, y viajan, cerca de dos meses, a través del Pacífico hacia el norte del SCH. Hay en éste sentido una respuesta predecible, esta ventana de dos meses podría ser usada para tomar decisiones. Si las condiciones medio ambientales se pueden predecir con anticipación de seis o nueve meses, tal como se predice El Niño, podremos tomar medidas preventivas. Jarre et al., (2008) comparó dos tipos de sistemas expertos (basados en la regla Bolean y en los modelos 'fuzzy-logic') que utilizan múltiples grupos de datos e índices para ayudar al sistema de toma de decisiones. La comparación fue hecha para las pesquerías del sur de Benguela pero tiene aplicaciones para el norte del SCH. Estos nuevos esfuerzos pueden ser implementados dentro de un "tablero" fácil de aplicar para apoyar a los que toman las decisiones.

El sistema de monitoreo por satélite de los barcos (SISESAT) ha proporcionado datos únicos acerca del esfuerzo pesquero y como lo mencionan Bertrand et al. (2008c), en la distribución espacial de los recursos. Los datos de SISESAT proporcionan información fuerte, confiable, a tiempo real y de bajo costo para propósitos científicos y de manejo (Bertrand et al., 2007). Bertrand et al., (2008-c) usaron redes neutrales artificiales (RNA) con datos de SISESAT para estimar la posición de las operaciones pesqueras para la flota entera de las embarcaciones de cerco peruanas que explotan la anchoveta. La RNA fue entrenada sobre la base de viajes de pesca donde la posición de los lances de pesca es conocida gracias a un programa de observadores embarcados. La RNA identificó correctamente el 83% de las calas de pesca reales. Bertrand et al. (2008c) cuantificaron la extensión hasta la cual los grupos de barcos describen la distribución de la anchoveta y encontraron que la localización de las calas proporciona información valiosa sobre la distribución del stock de anchoveta peruana y últimamente sobre su vulnerabilidad a la pesquería. Una pesquería con capacidad sobredimensionada: Fréon et al. (2008) estimaron en 300% la sobre dimensión de la capacidad actual de la flota industrial. En otras palabras la flota tiene capacidad para capturar 30 millones de toneladas por año aún cuando la cuota ha sido considerada entre 5 a 8 millones de toneladas. Se llegó a esta sobrecapacidad por la 'carrera olímpica' para pescar la mayor proporción posible de una cuota global (tragedia de los comunes). Bajo varias administraciones, los responsables del manejo pesquero no pudieron controlar la expansión de la flota y plantas de procesamiento de pescado. Bajo el sistema

prevalerte hasta mediados del 2008, el año pesquero era dividido en dos semestres o temporadas pesqueras, con vedas largas establecidas, coincidiendo con los dos periodos de desove principales de invierno y verano. La cuota o el la captura total permisible (CTP) era asignada al inicio de cada estación de pesca y eventualmente ajustada por mes dentro de la estación. Cuando se llega al total de la captura permisible para ese periodo la pesquería se cierra hasta el próximo periodo. Varios de estos periodos constituyen una temporada de pesca. Debido al hecho que hay una sola cuota para todos los capitanes los más hábiles y altamente capacitados pueden sacar más provecho. Un nuevo sistema de cuotas individuales (CI), en el cual la CTP está distribuida a los barcos de pesca registrados que tienen una licencia de pesca válida está siendo implementado. De no tener que correr para pescar lo más posible se espera una reducción significativa en el tamaño de la flota, pero también a nuevos retos socioeconómicos, biológicos y ecosistémicos en particular, tal como ocurrió en el pasado, si el nuevo sistema no es lo suficientemente controlado. Bien administrado el sistema de CI debería resultar en los mismos beneficios económicos que con el sistema de cuotas individuales transferible (CIT) (Costello et al. 2008) pero probablemente sin los problemas asociados a los CIT: concentración de los armadores en pocas empresas grandes, disminución del beneficio pesquero para las comunidades locales, y el desarrollo de burbujas especulativas (ver Hilborn et al., 2005). La implementación del sistema de las CI da la oportunidad de estudiar como la anchoveta y el ecosistema responden a un cambio que podemos medir. Con el sistema actual la estación de pesca dura alrededor de 50 días por año (Fréon et al., 2008) y se espera que la estación se alargue con el sistema de CI. Las consecuencias pueden ser positivas o negativas y hasta lo que conocemos tal tipo de 'experimento controlado' nunca ha sido realizado. Por ejemplo un periodo de pesca más largo pero menos intenso podría ser menos traumatizante para la anchoveta pero más días de pesca podría producir más estrés al ecosistema en su conjunto. Después de varios años de recolección de datos los pros y contras del sistema de CI tendrá que ser evaluado.

Los ejemplos arriba mencionados ilustran el reto de la implementación de un sistema de manejo con un enfoque ecosistémico. Hay que mencionar que aunque esta Edición Especial hace poca mención de las llamadas especies carismáticas y algunas veces amenazadas (ej. aves marinas, mamíferos marinos, atún, tortugas, etc.) necesitan ser consideradas dentro de la ecuación del manejo. Aunque el reto es monumental si puede ser cumplido en alguna parte del planeta sería en el SCH frente al Perú.

Futuras Direcciones

Varios temas de investigación para el futuro fueron resaltados a lo largo de la introducción a este número especial dedicado al HCS Norte. Muchos son vinculados a las características únicas de esta región: (1) una producción primaria intensa y un transfer 'trófico', eficiente pero todavía escasamente definido, hacia los pequeños peces pelágicos que sustentan la pesquería más grande del mundo (Fig. 1); (2) el nivel mayor de variabilidad interanual para cualquier región costera en el océano mundial (Fig.3); y (3) una Zona de Mínimo de Oxígeno 'ácida', intensa y poco profunda (ZMO; Fig. 5). Mientras estos tres procesos - una producción biológica alta, una variabilidad inter-anual y un mínimo de oxígeno - no son independientes, tratamos cada uno por separado en los párrafos siguientes.

Varias hipótesis trataron de explicar la producción excepcionalmente alta de pequeños peces pelágicos en el HCS Norte - o en otras palabras lo que fue llamado la 'Paradoja de la anchoveta peruana': (1) el HCS Norte podría simplemente tener niveles más altos de producción primaria y por lo tanto de productividad pesquera que otros ecosistemas costeros de afloramiento; (2) se sugirió que la anchoveta en Perú, a la diferencia de en los otros ecosistemas de afloramiento, se alimentaría directamente de fitoplancton, más que todo diatomeas, y por lo tanto, la cadena trófica sería muy corta y eficiente; (3) la combinación de una alta producción primaria y de vientos relativamente débiles podría conducir a tiempos de residencia mayores, un ambiente menos turbulento, y condiciones óptimas para el crecimiento de los peces, la reproducción y la retención de los huevos y larvas (Bakun and Parrish, 1982; Bakun and Weeks, 2008); (4) la ZMO podría concentrar las presas y al mismo tiempo reducir la prelación sobre el zooplancton y los pequeños peces pelágicos; y (5) los niveles altos de la variabilidad interanual del HCS del Norte resultaría en un ecosistema pelágico siempre en un estado 'r' favoreciendo los peces de crecimiento rápido como la anchoveta (Chavez, 1987), y impidiendo a los predadores (de pequeños pelágicos) oceánicos de larga vida establecerse (Bakun and Weeks, 2008). Como Bakun y Weeks (2008) nos lo recuerdan, el espectro del cambio climático esta en el horizonte lo que les hace preguntarse si los cambios que lleva van a 'trasladar' el ecosistema marino del Perú afuera de su actual estado favorable?

La primera hipótesis acerca de una producción de peces aumentada frente al Perú puede ahora ser descartada con seguridad ya que las estimaciones de producción primaria (Carr, 2001) y de suministro de nutrientes (Messie et al., 2008) indican que los ecosistemas de afloramiento de África del Noroeste y de Benguela tienen niveles mayores o similares al del Perú (Fig. 1). ¿Será Perú excesivamente eficiente en el transfer de producción primaria hacia los peces o serán Benguela y África del Noroeste excesivamente ineficientes? Paradójicamente, la producción primaria frente al Perú parece limitada durante los meses de invierno (Pennington et al., 2006), ya sea por el hierro o por la luz (Echevin et al., 2008; Friederich et al., 2008); Perú parece ser el único ecosistema costero de afloramiento donde el afloramiento y la producción primaria están fuera de fase. La segunda hipótesis de 'cadena trófica corta' ha sido ahora refutada por Espinoza y Bertrand (2008), quienes mostraron que la anchoveta obtiene la mayoría de su energía calórica del zooplancton, al idéntico que en los otros ecosistemas de afloramiento. Una de las diferencias radica en el hecho que en el HCS Norte, los eufausidos son la presa favorita de la anchoveta, a diferencia de África del Noroeste y de Benguela. La paradoja de la anchoveta peruana debe ser explicada por una combinación de las hipótesis remanentes y que conciernen (1) el transfer eficiente de producción primaria hacia los peces a través del zooplancton, en particular los eufausidos, vía una ventana ambiental óptima, (2) la ZMO impacta la prelación sobre presas y predadores de los pequeños peces pelágicos y (3) la alta variabilidad interanual.

Existe una preocupación creciente que la variabilidad ambiental juega un papel dominante en el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas marinos, y que esta variabilidad supera mucho lo que se pensaba originalmente. El Niño fue

y es todavía el ejemplo clásico del impacto de la variabilidad climática sobre los ecosistemas marinos (Barber and Chavez, 1983). Sin embargo, cambios más largos y sutiles en el ambiente parecen manejar cambios más fuertes y profundos en los recursos marinos vivos (Lluch-Belda et al., 1992; Chavez et al., 2003; Alheit and Niquen, 2004). Llegando a los tales llamados 'cambios de régimen'. Series de tiempo nuevas provenientes de forrajes del sedimento marino debajo de la ZMO peruana revelaron cambios importantes y duraderos (Gutiérrez et al., 2008; Sifeddine et al., 2008). Parece que el actual 'estado dorado' en términos de productividad pesquera ya se dio y desapareció en el pasado antes de la aparición de las primeras influencias antropogénicas. ¿Se darán nuevamente en el futuro las condiciones para generar tales ciclos? Y si es así, ¿se producirán cambios y sabremos predecirlos? Los planes de manejo tendrán que ser desarrollados teniendo en mente esta base ambiental cambiante.

La variabilidad ambiental deja su huella sobre el ecosistema y la ZMO. Las comunidades bénticas de la meseta continental cambian de manera importante desde aquellas dominadas por los pocos organismos capaces de aguantar las condiciones dominantes de anoxia, hacia una comunidad diversa durante El Niño, cuando los niveles de oxígeno encima de la meseta aumentan fuertemente (Arntz et al., 2006; Gutiérrez et al., 2008a; Tarazona et al., 1988). La oxigenación durante El Niño 'limpia' no solamente las comunidades bénticas, pero también las pelágicas a escalas interanuales (Chavez, 1987). Cambios similares se producen a escalas de tiempo multi-decenales y centenales. Sin embargo, durante los siglos recientes, la ZMO del HCS del Norte confinó la mayoría de los organismos necesitando oxígeno en las aguas superficiales, proporcionando a los que pueden soportar condiciones de bajo oxígeno un refugio contra la prelación y la competición. El impacto de la ZMO sobre las comunidades bénticas está bastante bien documentado, pero como discutido anteriormente, el impacto completo de una ZMO poco profunda e intensa sobre el ecosistema pelágico queda poco claro. Por ejemplo, el papel de la ZMO sobre el crecimiento y la supervivencia del zooplancton queda por resolver, dado la escasez de estudios de este tipo en el HCS Norte. Un estudio temprano revela que una fracción importante de la comunidad zooplantónica es limitada en su distribución vertical por la ZMO (Judkins, 1980). Por otra parte, en el Norte de Chile, una parte importante del zooplancton puede penetrar la ZMO durante su ciclo de migración vertical, mientras que una parte menor del mismo zooplancton está restringida a la capa superficial oxigenada (Escribano et al. in press). ¿Será el zooplancton protegido del forrajeo cuando está en la ZMO? ¿Será más accesible a la anchoveta? Numerosos procesos bacteriales y ciclos biogeoquímicos, que no son discutidos en este número especial, están acentuados en la ZMO, haciendo esta región importante para los balances de nitrógeno global por ejemplo (Codispoti et al., 1986).

Reportes recientes sugieren que las ZMO están creciendo en respuesta a cambios centenales de larga escala (Gutiérrez et al., 2008), o a influencias antropogénicas (Stramma et al., 2008). Una tal expansión tiene sin duda consecuencias para los ciclos del nitrógeno global, sustrayendo nitrato vía la desnitrificación. ¿Puede explicar esta expansión el achicamiento del hábitat de la merluza y otra fauna demersal en el Norte del Perú? Los procesos naturales de fotosíntesis, de fijación del carbono, de producción de oxígeno en la superficie y de su hundimiento, de decrecimiento de la producción primaria originada en la superficie en la profundidad, donde el oxígeno esta consumido y el dióxido de carbono respirado, actúan para acidificar el océano profundo. Como consecuencia, regiones de poco oxígeno son también de bajo pH (Fig. 5). ¿Cuán rápido la difusión lenta del CO₂ atmosférico de origen antropogénica en el océano (Feely et al., 2008) acidificará aun más los ecosistemas del HCS Norte y cuáles serán las consecuencias? ¿Es el ácido HCS del Norte una ventana sobre el futuro para los otros ecosistemas que tienen hoy en día oxígeno y pH más altos?

En síntesis, el HCS Norte frente al Perú es intensamente estudiado por sus dinámicas fuera de lo usual y su impresionante productividad pesquera. Es un ecosistema turbio, con colores variando del verde al marrón, con más "sustancia" que "belleza" – muy diferente de los sistemas tropicales estereotipos donde la diversidad y los colores dominan. De hecho, en el HCS del Norte, la productividad se hace al costo de la diversidad. De manera interanual y multi-decenal, el HCS Norte cambia de productividad biológica mayor y diversidad menor durante los periodos fríos, hacia productividad menor y biodiversidad mayor durante los periodos cálidos (El Niño y el Viejo). En términos de recursos marinos vivos, el HCS Norte es quizás el ecosistema amplio mejor monitoreado del mundo, autorizando un manejo de las pesquerías singularmente eficiente, a pesar de desafíos internos (económicos) y externos (ambientales). La colección continua de series de tiempo es ampliamente alentada, en conjunto con la aplicación de tecnologías de observación nuevas y evolutivas, la modelización y el manejo. En el ambiente presente, la estrategia científica y de manejo se sustenta en observaciones, reglas básicas del ecosistema, y modelos y prácticas de manejo mono-propósitos. En el futuro, sistemas adaptativos integrando completamente observaciones, modelos y prácticas de manejo serán necesarios, con un uso más desarrollado de sistemas de observación autónomos, como boyas, planeadores o anclajes. Nos preguntamos qué cambios, en el ambiente y en el sistema de manejo integrado llevarán la próximas décadas, y esperamos que la próxima síntesis será tan fructuosa como esta.