



Ballena Sei
Balaenoptera borealis
Ramutcho, Concepción
5 de Noviembre 2019
Foto: Felipe Aguilera

Sistema de Corriente de Humboldt:

Un recurso vital para la biodiversidad marina

por Andrea Cisterna-Concha

Programa de Doctorado en Oceanografía, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile.

Muchas veces hemos escuchado hablar sobre la gran productividad que hay en aguas chilenas, esa gran productividad que sostiene grandes pesquerías y una alta biodiversidad, pero ¿A qué se debe este fenómeno? ¿Por qué nuestras aguas son tan «ricas» en nutrientes? ¿Cómo se sostienen esas grandes pesquerías y esa gran biodiversidad? Gran parte de estas preguntas pueden ser explicadas por el famoso y conocido «Sistema de Corriente de Humboldt».

En el mundo existen los denominados «Sistemas de Surgencia de Borde Oriental» (EBUS por sus siglas en inglés) los cuales son ecosistemas altamente productivos y que a pesar de que cubren menos del 1% del océano, proporcionan entre el 20% y 40% de toda la pesquería a nivel mundial (Pauly & Christensen 1995, García-Reyes *et al.* 2015). Los EBUS se encuentran integrados en las corrientes de

California, Humboldt, Canarias/Ibérica y Benguela (Fig.1), brindan servicios ecosistémicos, económicos y recreativos a cerca de 80 millones de personas que viven en sus costas y en sus tierras interiores (Capone & Hutchins 2013), ¿Pero a qué se debe esta gran productividad?

En estos ecosistemas EBUS, los sistemas de presión atmosférica a gran escala generan patrones de viento a lo largo de la costa en dirección al ecuador. Este viento combinado con el efecto de *Coriolis* (i.e. desplazamiento del agua desde un punto con relación a la rotación terrestre) arrastran las aguas superficiales hacia el lado izquierdo de la dirección del viento en el hemisferio sur, efecto conocido como transporte de Ekman. Debido al principio de conservación de masa, estas aguas arrastradas deben ser sustituidas, provocando que aguas profundas (frías, con bajo pH y bajas concentraciones

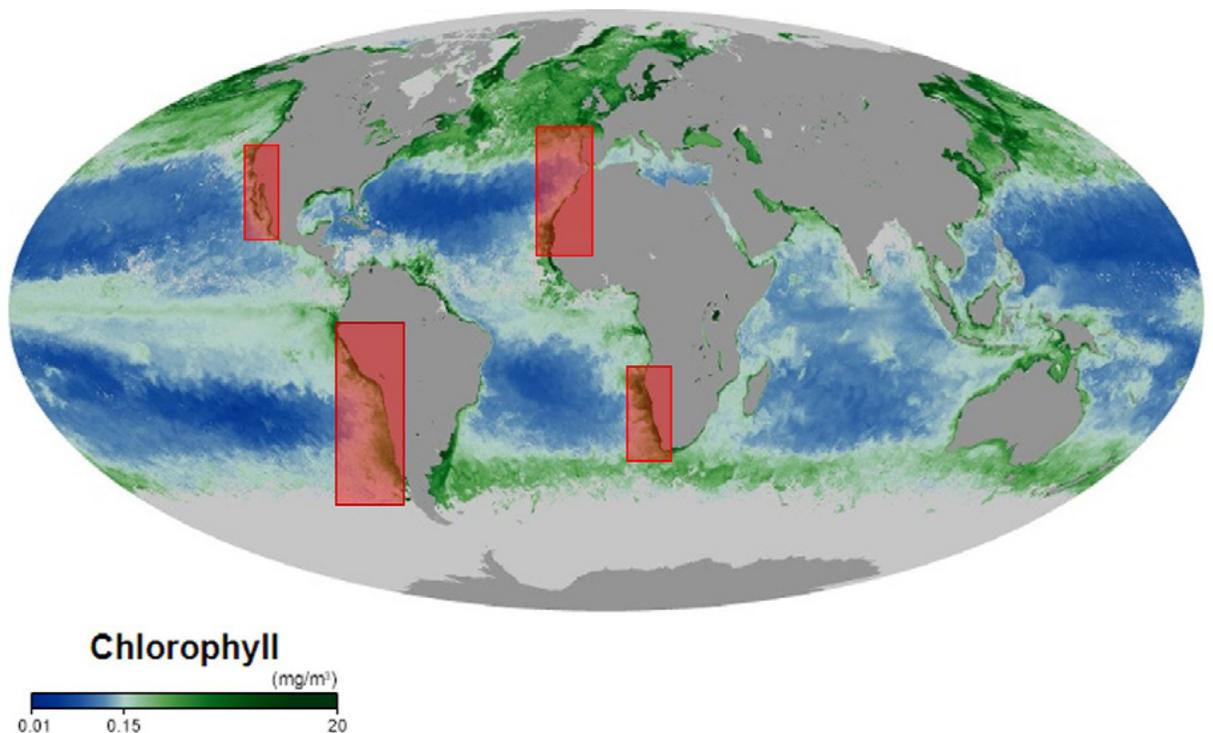


FIGURA 1.
Sistema de surgencia de borde Oriental.
IMAGEN ORIGINAL:
Earth Observatory Nasa
(<https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps>)

FIGURA 2.
Surgencia costera
generada por viento.

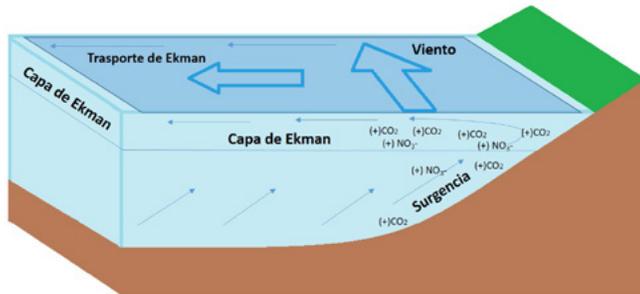
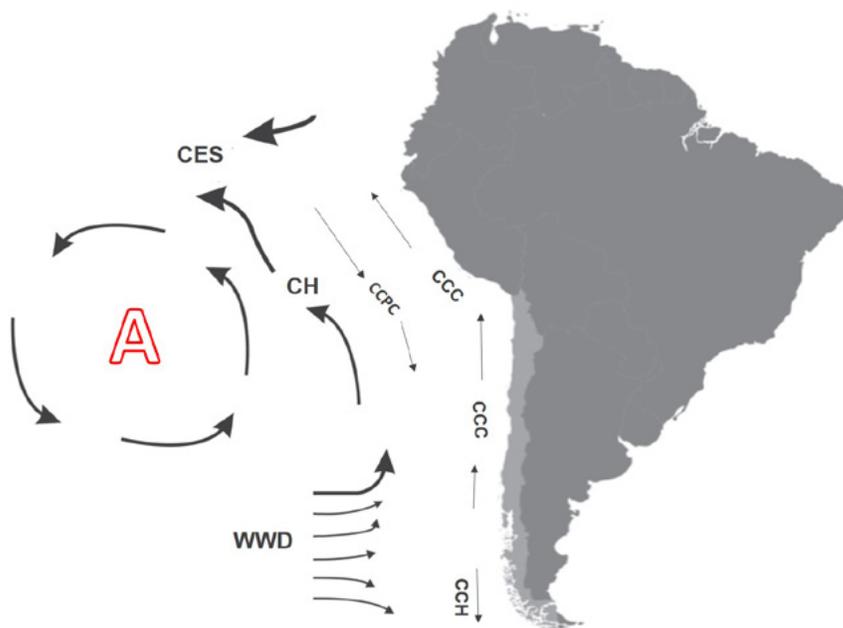


FIGURA 3
Sistema de Corriente de Humboldt. Descripción general de las corrientes superficiales en el Pacífico sur oriental que influyen en la costa centro-norte de Chile, mostrando los West Wind Drift (wwd), el flujo principal de la Corriente de Humboldt (CH), la Corriente del Cabo de Hornos (cCH), la Corriente de Costa de Chile (ccc), la Contracorriente Perú-Chile (ccpc) y la Corriente Ecuatorial del Sur (CES). Modificado de Thiel et al. (2007).

de oxígeno, pero con altas concentraciones de co y nutrientes) asciendan hasta la superficie, proceso conocido como **surgencia costera** (García-Reyes et al. 2015; Fig.2). La surgencia, favorece la captación de nutrientes y CO₂ por parte del fitoplancton que se encuentra en la superficie, que al igual que las plantas terrestres, los ocupan para poder realizar fotosíntesis, generando una abundante proliferación de biomasa fitoplanctónica, la cual es la base para la mantención de todos los recursos biológicos marinos (Huyer 1983, Capone & Hutchins 2013). Los principales productores primarios en



los océanos son las microalgas que conforman el fitoplancton, estos microorganismos son capaces de producir materia orgánica a partir de materia inorgánica. El fitoplancton es el punto de partida para el transporte de energía y nutrientes a través de las tramas tróficas.

Las aguas que bañan las costas chilenas están dominadas por el **Sistema de Corriente de Humboldt** (SCH), el cual es el más productivo del mundo. Presenta una alta productividad primaria asociada con eventos de surgencia impulsados por el viento en diferentes intensidades y frecuencias a lo largo de la costa sudamericana (Strub et al. 1998). El SCH se extiende desde la costa oeste de América del Sur, desde el sur de Chile (alrededor de 42°–45° S) hasta las Islas Galápagos en Ecuador (Montecino et al. 2005). Es la porción oriental que fluye hacia el Ecuador del giro anticiclónico del Pacífico sudoriental, limitado al norte por la Corriente Ecuatorial del sur (CES) y al sur por los West Wind Drift (wwd; Fig.3).

La oceanografía general del SCH se caracteriza por un flujo predominante hacia el norte de las aguas superficiales, las cuales tienen un origen subantártico (Agua Subantártica) y por una fuerte surgencia de aguas subsuperficiales frías, ricas en nutrientes de origen ecuatorial (Agua Ecuatorial Subsuperficial). En la zona norte (aprox. entre Arica y Coquimbo) el afloramiento de aguas está localizado. Esto se debe a que el promedio de los vientos de esa zona es predominantemente hacia el norte, provocando una surgencia permanente manteniendo una alta productividad primaria durante gran parte del año. En la zona centro-sur el afloramiento de agua no es constante si no que estacional. Esto debido a que la dirección de los vientos cambia y no siempre van hacia el norte, sino que también pueden ir hacia el sur, provocando surgencia principalmente en el período

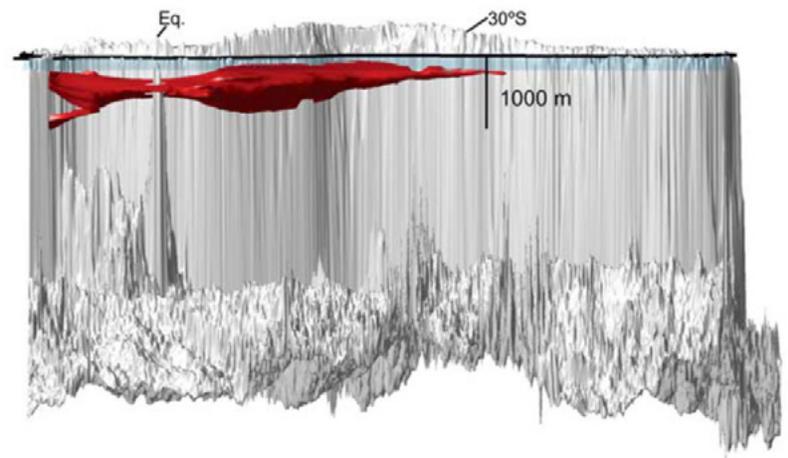
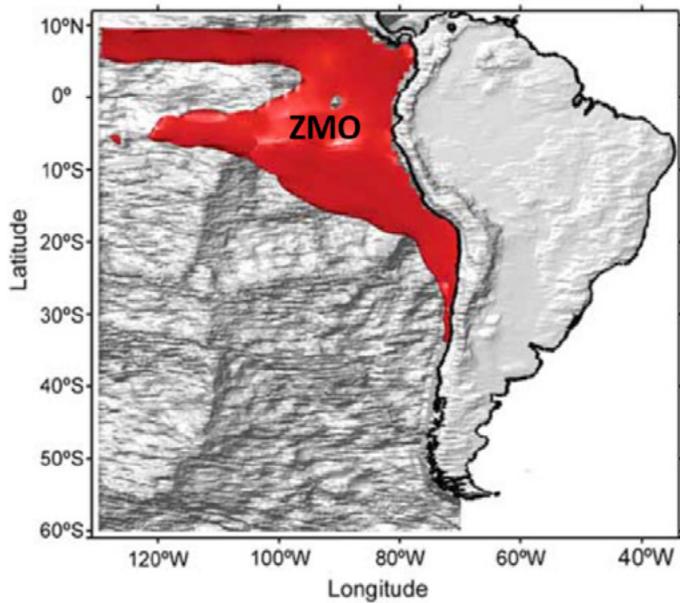


FIGURA 4
Vista tridimensional de la actual zona mínima de oxígeno del Pacífico sur oriental generada utilizando los datos climatológicos de World Ocean Atlas 1994 (<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.nodc.woa94.html>). El sombreado rojo encierra el volumen oceánico con contenidos de oxígeno por debajo de 0,5 ml L⁻¹ (23 mmol / kg). También se muestra una topografía suavizada (ETOPO 5). La topografía sobre el nivel del mar se redujo en un factor de 10 para mayor claridad. Los datos se descargaron de <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/sources>. Fuente De Pol-Holz et al. (2007).

primavera-verano que es donde los vientos van hacia el norte favoreciendo una alta productividad primaria en esta época del año (Strub et al. 1998, Thiel et al. 2007).

Producto del afloramiento continuo de aguas profundas con bajo oxígeno, en las áreas con surgencia además se produce la denominada **Zona de Mínimo Oxígeno** (ZMO; Fig. 4). Esta es una barrera física para algunos organismos pelágicos (que viven en la zona desde la superficie del mar hasta la capa cercana al fondo marino) y bentónicos (que viven asociados al fondo marino) que puede ejercer una presión fisiológica sobre ellos debido a las bajas concentraciones de oxígeno que deben soportar. La extensión de la ZMO depende de varios factores, entre ellos la intensidad del viento, surgencia y tamaño de la plataforma continental. Fenómenos climáticos a gran escala como es «El Niño Oscilación del Sur» (ENOS) pueden superponerse a las condiciones de SCH, provocando cambios temporales en toda la franja asociada a este sistema.

Comida para todos

La producción primaria extremadamente alta en estas áreas alimenta la producción de zooplancton y peces en áreas extensas, lo que también soporta niveles de la trama trófica más altos, incluidas grandes poblaciones de aves y mamíferos marinos. En los sistemas de surgencia, podemos encontrar redes alimentarias relativamente cortas, que permiten la transferencia masiva de energía a los niveles tróficos más altos (Cushing 1971, Arntz & Fahrbach 1991). El zooplancton en zonas costeras está dominado principalmente por crustáceos como los copépodos los cuales son dominantes en esta zona. Ejemplo de ellos son *Acartia tonsa*, *Centropages brachiatus*, *Calanus* sp; *Paracalanus* sp; siendo *Calanus chilensis* una especie endémica del SCH (Marín et al. 1994). Para los euphausidos o krill, la especie más abundante y endémica del SCH es *Euphausia mucronata* (Antezana 1978). La anchoveta (*Engraulis ringens*) y la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*) están entre los pequeños consumidores de peces, pero también podemos encontrar depredadores más grandes que incluyen al jurel (*Trachurus murphyi*), la merluza (*Merluccius gayi gayi*) y algunos cefalópodos



Krill, *Euphausia* sp.
Muestra tomada en
Bahía Coliumo
Noviembre 2012 app.
FOTO: Leissing Frederick y
Joceline Silva

(jibia, pulpo) (Neira & Arancibia 2004). También podemos encontrar peces pelágicos grandes como el atún y el pez espada (*Xiphias gladius*).

Respecto a la diversidad de aves en el SCH podemos encontrar 9 especies endémicas, como el Pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*), Yunco de Humboldt (*Pelecanoides garnotii*), Piquero común (*Sula variegata*), Pelicano (*Pelecanus thagus*), Cormorán Guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*), Lile (*Phalacrocorax*

gaimardi) Gaviota peruana (*Larus belcheri*), Gaviota garuma (*Leucophaeus modestus*), Gaviotín monja (*Larosterna inca*) y Gaviotín chico (*Sterna lorata*). Las colonias reproductoras más importantes se encuentran en las islas del centro-norte de Chile, cerca de las zonas de afloramiento. La alta productividad del SCH también atrae aves pelágicas que nidifican a miles de kilómetros de esta área, como albatros y petreles, que visitan este sitio en busca de alimento para sus pichones.



Pingüino de Humboldt
Spheniscus humboldtii
Chañaral de Aceituno
Febrero 2020
Foto: Daniela Calderón,



Lobo fino austral
Arctocephalus australis
Chañaral de Aceituno,
Febrero 2020.
Foto: Andrea Cisterna Concha

Para el caso de los mamíferos marinos, la riqueza total en SCH alcanza aproximadamente 22 especies y en su gran mayoría son cetáceos (Thiel *et al.* 2007). La abundancia de avistamientos individuales en el SCH sugiere que es una importante estación de alimentación en las rutas migratorias de algunos cetáceos como la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), la ballena fin (*Balaenoptera physalus*) y la ballena azul (*Balaenoptera musculus*). Otro representante de los mamíferos marinos en el SCH son los otáridos, la especie más abundante es el lobo marino común (*Otaria byronia*) pero también podemos encontrar el lobo fino austral (*Arctocephalus australis*) y el lobo fino de Juan Fernández (*Arctocephalus philippii*). El único representante en la familia de los mustélidos es el chungungo (*Lontra felina*).

El futuro del SCH

Diversos modelos climáticos realizados durante el último tiempo predicen que los vientos a lo largo de la costa se intensificarán en gran parte en los EBUS, debido al calentamiento global. Esto traería como consecuencia la intensificación de los eventos de surgencia afectando directamente la salud de los ecosistemas marinos costeros. Para el caso particular del SCH se prevé que el estrés del viento aumente durante el siglo XXI, aunque más pronunciadamente en el sur (Oyarzún & Brierley 2019). Dentro de los posibles cambios que podrían afectar los ecosistemas donde se están intensificando los vientos estaría el aumento de la productividad primaria. Sin embargo, la productividad excesiva generaría cargas más grandes de materia orgánica que se hundiría en las profundidades del océano. La descomposición bacteriana de esta materia orgánica puede agotar el oxígeno en la columna de agua y, en casos muy extremos, generar eventos anóxicos mortales entre otros (Di Lorenzo 2015). Cambios en las características físicoquímicas de la columna de agua como son la temperatura, oxígeno y CO₂, también pueden traer consigo un



Tursión
Tursiops truncatus
Chañaral de Aceituno
Febrero 2020
Foto: Daniela Calderón

recambio de especies, y especies que son abundantes y de importancia económica, pueden disminuir como efecto de cambio en el ambiente, así como otras especies pueden verse favorecidas. Si bien la información disponible hasta la fecha es solo en base a modelos climáticos, ya existe certeza de que el scH se está modificando, por lo tanto, los impactos climáticos en este sistema podrían dar lugar a consecuencias ecológicas y socioeconómi-

cas no solo localmente, sino que también a nivel mundial. Esto, sumado a impactos locales como la sobreexplotación pesquera y la contaminación (e.g. plásticos), hacen del scH un ecosistema frágil. Las acciones humanas a escala local y global lo afectan. Si queremos que la salud y productividad del scH se mantenga en el tiempo, ¡es necesario conservarlo y manejarlo de manera sustentable ahora!

Literatura citada

- Antezana, T. (1978).** Distribution of euphausiids in the Chile-Perú Current with particular reference to the endemic *Euphausia mucronata* and the oxygen minimum layer. Ph.D. dissertation, University of California, San Diego.
- Arntz, W., & Fahrbach, E. (1991).** El Niño Klimaexperiment der Natur. Birkhäuser, Basel. Birkhäuser, Basel.
- Capone, D. G., & Hutchins, D. A. (2013).** Microbial biogeochemistry of coastal upwelling regimes in a changing ocean. *Nature Geoscience*, 6(9): 711-717.
- Cushing, D. H. (1971).** Upwelling and the production of fish. In *Advances in marine biology* (Vol. 9, pp. 255-334). Academic Press.
- García-Reyes, M., Sydeman, W. J., Schoeman, D. S., Rykaczewski, R. R., Black, B. A., Smit, A. J., & Bograd, S. J. (2015).** Under pressure: climate change, upwelling, and eastern boundary upwelling ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, 2: 109.
- De Pol-Holz, R., Ulloa, O., Lamy, F., Dezileau, L., Sabatier, P., & Hebbeln, D. (2007).** Late Quaternary variability of sedimentary nitrogen isotopes in the eastern South Pacific Ocean. *Paleoceanography*, 22(2).
- Di Lorenzo, E. (2015).** Climate science: The future of coastal ocean upwelling. *Nature*, 518(7539): 310-311.
- Huyer, A. (1983).** Coastal upwelling in the California Current system. *Progress in oceanography*, 12(3): 259-284.
- Marín, V., Espinoza, S., & Fleminger, A. (1994).** Morphometric study of *Calanus chilensis* males along the Chilean coast. *Hydrobiologia*, 292(1): 75-80.
- Montecino, V., Strub, P. T., Chavez, F., Thomas, A., Tarazona, J., & Baumgartner, T. (2005).** Bio-physical interactions off western South America. *The sea*, 14: 329-390.
- Neira, S., & Arancibia, H. (2004).** Trophic interactions and community structure in the upwelling system off Central Chile (33-39 S). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 312(2): 349-366.
- Pauly, D., Trites, A. W., Capuli, E., & Christensen, V. (1998).** Diet composition and trophic levels of marine mammals. *ICES journal of Marine Science*, 55(3): 467-481.
- Oyarzún, D., & Brierley, C. M. (2019).** The future of coastal upwelling in the Humboldt Current from model projections. *Climate dynamics*, 52(1-2): 599-615.
- Strub, P.T., J.M. Mesías, V. Montecino, J. Rutllant & S. Salinas. 1998.** Coastal ocean circulation off western South America. In *The Sea*, A.R. Robinson & K.H. Brink (eds). New York: John Wiley and Sons, 273-314.
- Thiel, M. et al. (2007).** The Humboldt Current System of Northern and Central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology: an annual review*, 45: 195-344.