



I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

Modelación del efecto del Niño y el aumento de nutrientes sobre el crecimiento de microalgas tóxicas en los canales y fiordos del sur de Chile

**Carolina Meruane¹
Alberto de la Fuente²**

RESUMEN EXTENDIDO

La costa del sur Chile en las regiones de Los Lagos y Aysén se ha visto afectada por problemas de florecimientos de algas nocivas como la marea roja. Estos florecimientos tienen severas consecuencias sobre el ecosistema acuático y la salud de la población, debido a que reducen el contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua, dañan mecánicamente las branquias de los peces, y son tóxicas para los peces, bivalvos y el ser humano (Kirkpatrick et al., 2004). Las floraciones de algas se producen por reproducción de individuos que se encontraban en estado de latencia (Lembeye G. 2004, 2006), y que germinan y proliferan rápidamente al encontrar las condiciones apropiadas de temperatura, salinidad, nutrientes, entre otros (Molinet et al., 2003; Omand et al., 2011). En el caso particular de la zona de estudio, la marea roja se debe principalmente a la presencia de dinoflagelados y diatomeas (Suárez B. y Guzmán L. 1999; Seguel et al., 2005) y durante el verano de 2016, bajo condiciones de El Niño, se desencadenó un florecimiento explosivo de marea roja, que gatilló una fuerte crisis socio-ambiental (Subpesca, 2016).

El objetivo de este trabajo es modelar la hidrodinámica y calidad de aguas de la costa del sur de Chile (Fig. 1), para estudiar la respuesta de las diatomeas y los dinoflagelados bajo condiciones de El Niño y La Niña, y para concentraciones de nutrientes normales y aumentadas en un orden de magnitud. Para esto, se utilizó el modelo eco-hidrodinámico tridimensional ELCOM-CAEDYM (Hodges, B. and Dallimore, C. 2010a; Hipsey et al 2010; Trolle et al., 2012), y se modelaron 2 escenarios meteorológicos, el verano de 2011 asociado a La Niña y el verano de 2016 asociado a El Niño, y por cada uno se modeló las condiciones de nutrientes medias y aumentadas en un orden de magnitud. Se utilizaron los datos batimétricos y de línea de costa de las cartas del SHOA; los resultados del pronóstico hidrodinámico global HYCOM como condición de borde oceánica; y el registro de caudales diarios de la DGA para los afluentes de agua dulce. El tamaño horizontal de la grilla fue 1x1 km², con un espaciamiento vertical creciente desde 1 m en superficie hasta 10 m en profundidad. El paso de tiempo se fijó en 360s, que satisface la condición de estabilidad numérica. Finalmente, la condición de borde meteorológica (viento, temperatura, humedad, radiación solar, etc.) se obtuvo de los re-análisis atmosféricos NCEP-NAR. Los resultados hidrodinámicos fueron validados mediante la comparación de datos medidos y modelados

¹ Modelación Ambiental Spa. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
cmeruane@modelacion.cl

² Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. aldelafo@ing.uchile.cl



de perfiles verticales de salinidad y temperatura. Para la implementación de CAEDYM se utilizó como condición inicial y de borde las concentraciones medias de los monitoreos históricos de la DIRECTEMAR: $\text{PO}_4=0,02 \text{ mg/m}^3$, $\text{NO}_2\text{-NO}_3=0,25 \text{ mg/m}^3$, $\text{NH}_4=0,015 \text{ mg/m}^3$, $\text{SiO}_2=4,0 \text{ mg/m}^3$.

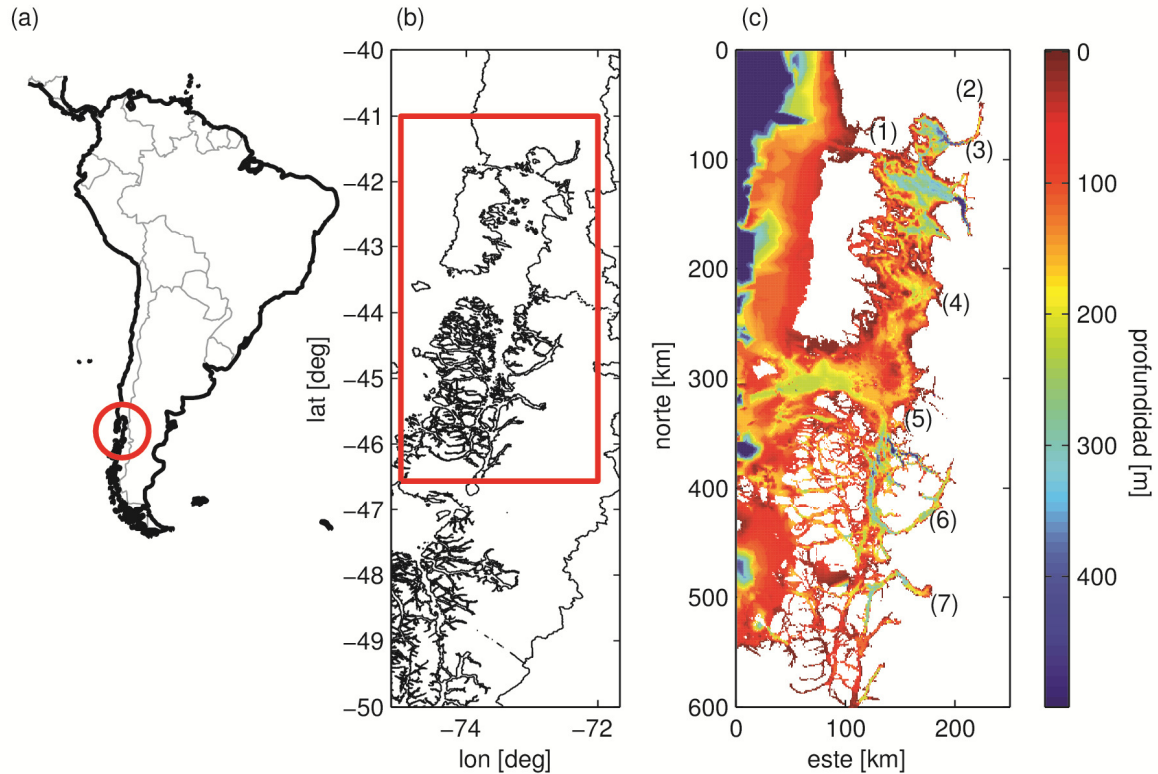


Figura 1: (a-b) Ubicación de los fiordos australes de Chile (41°S - 46.5°S). (C) Batimetría y línea de costa cartas batimétricas del SHOA. Los números indican la ubicación de los principales los ríos: (1) río Maullín (4738 km^2), (2) río Petrohué (2.640 km^2), (3) río Puelo (8817 km^2), (4) río Yelcho (10979 km^2), (5) río Palena (12745 km^2), (6) río Cisnes (5047 km^2), y (7) río Aysén (11590 km^2).

La Figura 2 se presenta una validación de los resultados del módulo hidrodinámico presentado en Meruane et al. (2013). Se observa un buen ajuste tanto en la temperatura como en la salinidad, particularmente se reproduce la estructura de dos capas de zona de fiordos, con una capa de agua dulce en superficie y agua salada en el fondo.

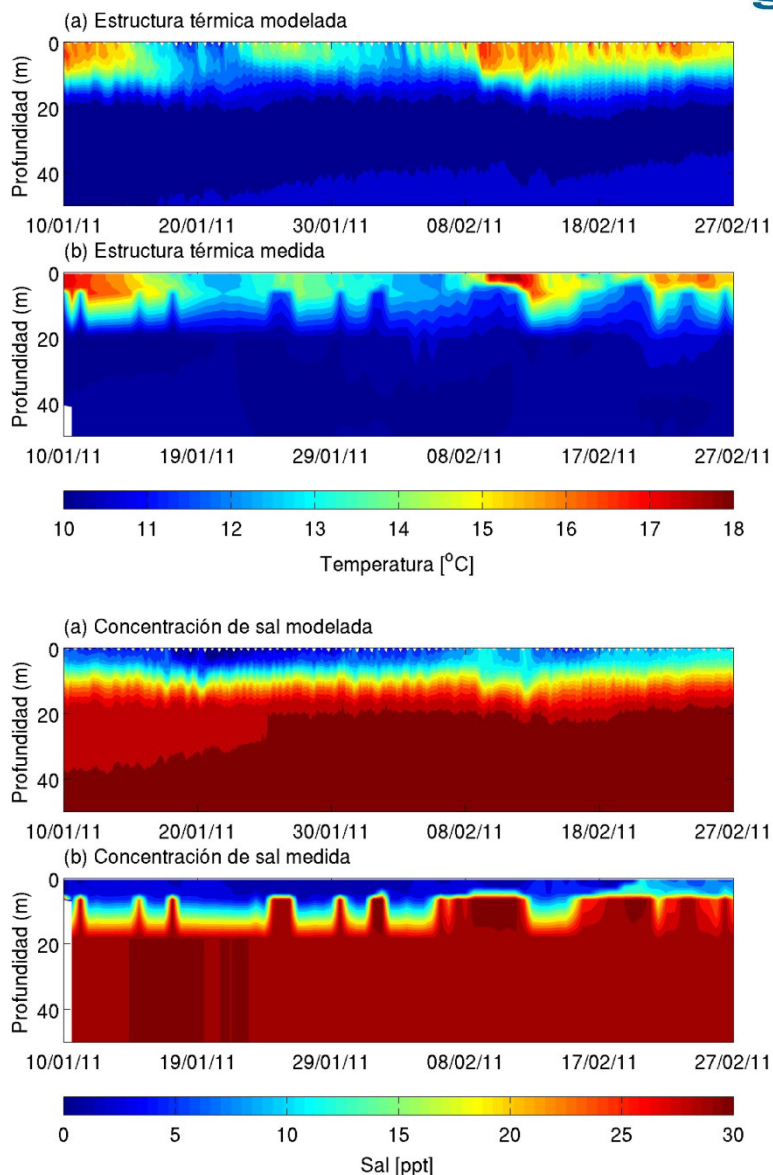


Figura 2: comparación de los datos medidos y modelados de la variación en la estructura vertical de salinidad y temperatura en el fiordo Aysén (cercano al punto 7 de la Figura 1). (Fuente: Meruane et al., 2013).

La Figura 3 resume los principales resultados: una diferencia de 2°C en la temperatura superficial del mar (Fig. 3a y 3b), que se traduce en un aumento de la concentración de dinoflagelados desde 2,5 hasta 5 mg/m³ (Fig. 3e) durante el episodio del Niño, mientras que la concentración de diatomeas disminuye un poco (Fig. 3c). Esto se debe a que los dinoflagelados tienen mayores temperaturas óptimas de crecimiento. Cuando aumenta la concentración de nutrientes, se observa un aumento en la concentración de dinoflagelados de 4,0 a 20 mg/m³ y desde 6,0 hasta 22 mg/m³ para La Niña y El Niño, respectivamente (Fig. 3e y 3f); sin observarse cambios significativos en la concentración de diatomeas (Figs. 3c y 3d).



Se concluye que el efecto del aumento de temperatura del agua durante episodios del Niño promueve el crecimiento de microalgas tipo dinoflagelados; sin embargo, las concentraciones de nutrientes resultan ser determinantes en el crecimiento de microalgas tóxicas.

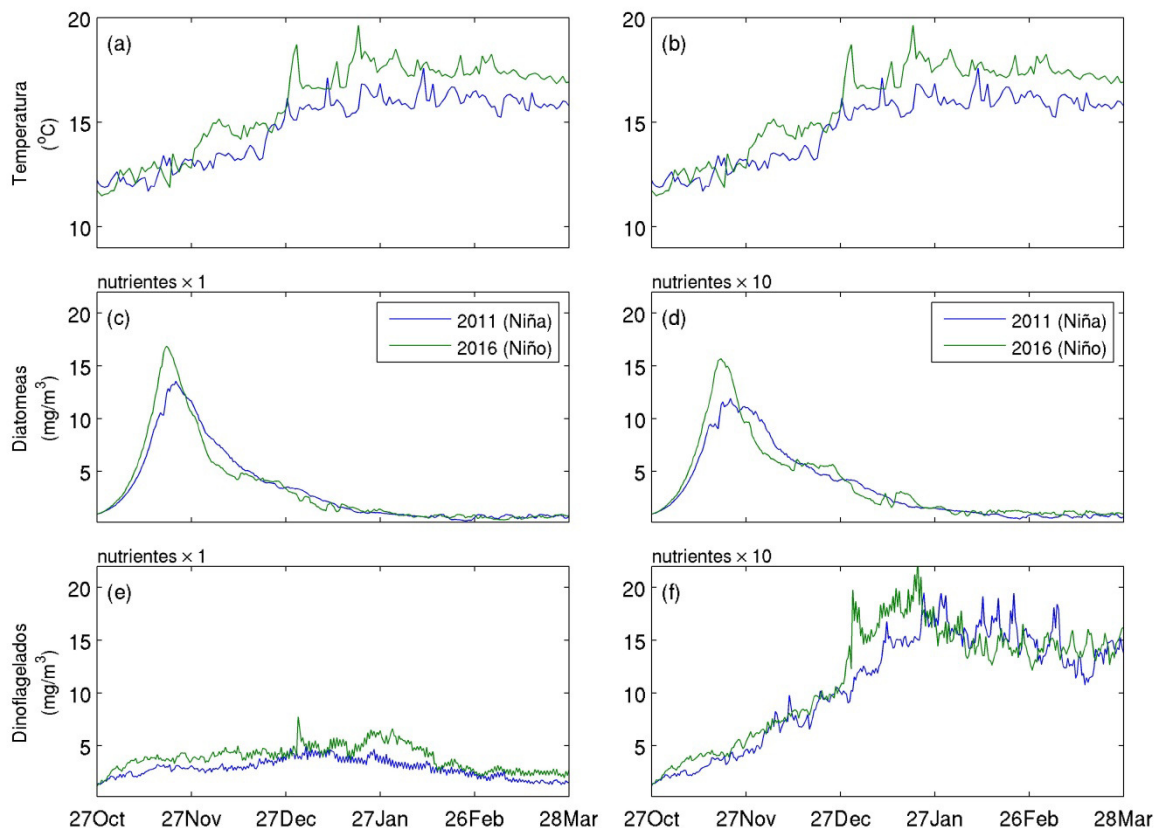


Figura 3: Resultados asociados a la modelación de los episodios la Niña (verano de 2011, línea azul) y el Niño (verano de 2016, línea verde). (a) y (b) Condición de borde de temperatura en las fronteras del dominio obtenidas del modelo global HYCOM Concentración máxima de diatomeas para el escenario de concentración normal de nutrientes (c) y aumentada en un orden de magnitud (d). Concentración máxima de dinoflagelados para el escenario de concentración normal de nutrientes (e) y aumentada en un orden de magnitud (f).

Referencias

Hipsey, M.R., Antenucci, J.P., and Hamilton, D. 2010b. Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model: CAEDYM v3.2. CWR Technical Note.

Hodges, B. and Dallimore, C. 2010a. Estuary, Lake and Coastal Ocean Model: ELCOM v2.2. CWR Technical Note.



Lembeye G. 2004. Distribución de Quistes de *Alexandrium catenella* y Otros Dinoflagelados en Sedimentos de la zona Sur-Austral de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*. 27(2): 21-31.

Lembeye G. 2006. Florecimientos algales nocivos en aguas australes. Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. N. Silva y S. Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 99-103, 2006.

Kirkpatrick et al. 2004. Literature review of florida red tide: implications for human health effects. *Harmful Algae* , 3:99-115.

Meruane, C., de la Fuente, A., Contreras, M. y Niño, Y. 2013. Large-scale mass transport in the austral fjords and channels of Chile. *Proceedings of 2013 IAHR Congress*. Chengdu, China. DOI: 10.13140/RG.2.1.3348.5527

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

Omand et al. 2011. Physical and biological processes underlying the sudden surface appearance of a red tide in the nearshore. *Limnol. Oceanogr.* , 56:787-801.

Subpesca, 2016. Informe fiscalización de la resolución DGTM MM Ord. N°12.600/05/1174/vrs, de la autoridad marítima relativa al vertimiento de desechos de salmones.

Suárez B. y Guzmán L. 1999 *Mareas Rojas y Toxinas Marinas, Floraciones de algas nocivas*. Santiago de Chile. pp. 77.

Seguel M., Tocornal M.A. y Sfeir A. 2005. Floraciones Algales Nocivas en los Canales y Fiordos del Sur de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*. 28(2): 5-13.