

Impacto de la resolución horizontal de un modelo regional sobre el afloramiento costero frente a Perú

El Pacífico Tropical Este alberga uno de los cuatro sistemas de borde oriental más productivo de los océanos del mundo conocido como el 'Sistema de la Corriente de Humboldt', el mismo que, solo frente a la costa peruana, produce cerca del 10% de la captura mundial de peces (Chavez et al., 2008). Esta característica particular se debe a la fuerte interacción entre el océano y la atmósfera que se desarrolla cerca a la costa a través del proceso de **afloramiento costero**, que es permanente e intenso frente al Perú. Este proceso es generado por los vientos alisios que fluyen de sur a norte (Gunther, 1936; Strub et al., 1998) y que provocan el desplazamiento del agua superficial hacia fuera de la costa (proceso denominado como transporte de Ekman), lo cual es compensado por el ascenso de agua más profunda (Brink et al., 1983), típicamente fría y rica en nutrientes (Silva et al., 2009).

Si bien el sistema de la corriente de Humboldt ha sido ampliamente reconocido por su riqueza e importancia tanto económica como ecológica, existen aún preguntas no resueltas o pobremente entendidas sobre los mecanismos que lo mantienen. Aunque el afloramiento en sí es manejado por los vientos locales, existe una fuerte influencia remota ejercida por la dinámica ecuatorial expresada no solo a través de la propagación de las ondas de Kelvin, sino también por la advección o transporte de masas de agua. Por ejemplo, las observaciones hidrográficas han sugerido que el agua aflorada frente a la costa de Perú tiene su origen en las capas inferiores de la Corriente Ecuatorial Subsuperficial (Lukas, 1986; Toggweiler et al., 1991). Sin embargo, esta hipótesis parece ser incompleta, ya que la Corriente Subsuperficial de Perú-Chile (Huyer et al., 1987), que fluye hacia el sur y es fuente directa del agua que aflora frente a Perú, también está alimentada por las Contracorrientes Subsuperficiales Sur primaria (pSSCC) y secundaria (sSSCC) (Montes et al., 2010).

Así, tal como menciona Lukas (1986), la parte norte del Sistema de la Corriente de Humboldt, conocido también

como el Sistema de Corrientes de Perú, es el único sistema de afloramiento de frontera oriental en proximidad y en conexión directa a la dinámica ecuatorial. Por lo tanto, está sujeto a la dramática variabilidad interanual de El Niño – Oscilación del Sur (ENSO). En las últimas décadas, muchos son los esfuerzos que se han realizado para entender El Niño y su impacto sobre el Pacífico Tropical Este. Particularmente, las investigaciones han estado enfocadas en discutir y examinar la variabilidad de la temperatura superficial del mar (Wang and Fiedler, 2006), pero muy pocas han descrito la variabilidad del afloramiento bajo las diferentes fases del ENSO (Dewitte et al., 2012). Ello, probablemente, debido a que la distribución espacial y temporal de los datos y recursos no permite que todos los elementos sean analizados.

Por otra parte, varios estudios han mostrado que los modelos numéricos del océano son una herramienta importante y exitosa para tratar de entender y estudiar la dinámica del océano, tal es el caso del modelo numérico *Regional Ocean Model System* (ROMS, Shchepetkin and McWilliams, 2005; 2009) el cual es un software libre distribuido alrededor del mundo que ha sido usado con éxito para estudiar los problemas complejos del océano costero y la circulación del océano a escala global y regional (Penven et al., 2005; Marchesiello et al., 2004; Blanke et al., 2005; Capet et al., 2008).

El estudio numérico idealizado desarrollado por Capet et al. (2008) señala que una de las ventajas de las simulaciones de alta resolución aplicadas a los sistemas de borde oriental es la buena representación del proceso de divergencia costera, o afloramiento costero. Sin embargo denota también la alta sensibilidad que la física del modelo puede tener a la resolución horizontal que se emplea. Ello fue notado al emplear diferentes resoluciones, entre 0.75 y 12 km, observando diferencias significativas en la distribución de la velocidad vertical y la temperatura.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo es estudiar y entender la dinámica del afloramiento costero bajo condiciones promedio usando del modelo numérico de alta resolución ROMS. Dicho modelo es configurado usando dos diferentes resoluciones espaciales (i.e., dos tamaños de grilla diferentes) y aplicando las mismas condiciones iniciales y de frontera (ver Tabla 1) a fin de entender las consideraciones dinámicas que se deben tomar en cuenta para modelar la dinámica del afloramiento costero durante las diferentes fases del ENSO.

Dominio	Resolución espacial	Forzantes	Fronteras	Periodo simulado	Promediado
		Esfuerzo de viento, flujos de calor y agua fresca			
[90° - 70°W; 4°N - 20°S]	1/6°	QuikSCAT+ COADS	SODA	Climatología	3 días
[90° - 70°W; 4°N - 20°S]	1/9°	QuikSCAT+ COADS	SODA	Climatología	3 días

Tabla 1. Características de las dos configuraciones ROMS.

Impacto de la resolución horizontal de un modelo regional sobre el afloramiento costero frente a Perú

Montes I., Fajardo J., Ramos Y., Saavedra M., Aparco J., Segura H., Hurtado P., Mosquera K., Takahashi K.

Resultados Preliminares

Los mapas de temperatura superficial del mar (TSM) y de corrientes superficiales modeladas (Figura 1) muestran que ambas configuraciones del modelo capturan las características principales de la región: el frente de temperatura ecuatorial, el afloramiento costero a lo largo de la costa peruana, la intrusión de agua más fría desde el sur por medio de la Corriente de Humboldt, el transporte de Ekman costa afuera y la Corriente Ecuatorial Sur que fluye de este a oeste. Sin embargo, se notan ciertas diferencias: la TSM simulada por la configuración de $1/6^\circ$ (aproximadamente 18 km) es ligeramente más fría que la simulada por la configuración de $1/9^\circ$ (aproximadamente 12 km) y muestra mayor intensidad del afloramiento costero y extensión del frente de afloramiento.

La comparación con los datos observados provenientes de la base de datos CARS, además, muestra que la simulación con más alta resolución ($1/9^\circ$) representa una distribución espacial de TSM sustancialmente más realista que la de $1/6^\circ$, a pesar de que el incremento de la intensidad del afloramiento es solo ligeramente mayor. Esta notable diferencia podría estar relacionada con las condiciones de forzamiento superficial aplicado, específicamente, al viento satelital utilizado debido a que los productos satelitales no capturan la disminución en la intensidad del viento cerca de la costa (conocida también como 'drop-off'), el cual es un componente importante para la dinámica costera.

Por lo tanto, nuestros resultados preliminares sugieren que el mejoramiento de nuestra simulación oceanográfica deberá incluir la corrección en el viento costero así como el empleo de una mejor resolución espacial. Como lo señalado por Capet et al. (2008), es necesaria una resolución más alta para capturar mejor la distribución de la velocidad vertical, la cual es denotada por escalas más pequeñas que la de temperatura. Ello, además, permitirá mejorar el realismo de los procesos costeros que se desarrollan en interacción con la plataforma, pues tendrá una mejor representación del transporte vertical de propiedades.

Referencias

- Blanke, B., A. Bentamy, C. Roy, and B. Sow, 2005: Modeling the structure and variability of the southern Benguela upwelling using QuickSCAT with forcing, *Journal of Geophysical Research*, 110, doi: 10.1029/2004JC002529.
- Capet, X., F. Colas, P. Penven, P. Marchesiello, and J. McWilliams, 2008: Eddies in Eastern Boundary Subtropical Upwelling Systems, in *Ocean modeling in an eddying regime*, 177, 409, *Geophysical Monograph Series*.
- Dewitte, B., J. Vazquez-Cuervo, K. Goubanova, S. Illig, K. Takahashi, G. Cambon, S. Purca, D. Correa, D. Gutierrez, A. Sifeddine, L. Ortlieb, 2012: Change in El Niño flavours over 1958–2008: Implications for the long-term trend of the upwelling off Peru, *Deep-Sea Research Part II*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.04.011>
- Gunther, E. R., 1936: A report on oceanographic investigations in the Peru Coastal Current, *Discovery Reports*, 13, 107-276.
- Huyer, A., R. L. Smith, and T. Paluszkiwicz (1987) Coastal upwelling off Peru during normal and El Niño times, *Journal of Geophysical Research*, 92, 14 297-14 307.
- Lukas, R., 1986: The Termination of the Equatorial Undercurrent in the Eastern Pacific, *Progress in Oceanography*, 16, 63-90.
- Marchesiello, P., H. Steven, L. Nykjaer, and C. Roy, 2004: Eddy-driven dispersion processes in the Canary Current upwelling system: comparison with the California system, *GLOBEC International Newsletter*, 10(1), 4-7.
- Montes, I., F. Colas, X. Capet, and W. Schneider, 2010: On the pathways of the equatorial subsurface currents in the eastern equatorial Pacific and their contributions to the Peru-Chile Undercurrent, *Journal of Geophysical Research*, 115.
- Penven, P., V. Echevin, J. Pasapera, F. Colas, and J. Tam, 2005: Average circulation, seasonal cycle, and mesoscale dynamics of the Peru Current System: A modeling approach, *Journal of Geophysical Research*, 110, C10021, doi:10.1029/2005JC002945.
- Shchepetkin, A. F., and J. C. McWilliams, 2005: The regional oceanic modeling system (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model, *Ocean Modelling*, 9, 347-404.
- Shchepetkin, A. F., and J. C. McWilliams, 2009: Correction and commentary for "Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the regional ocean modeling system" by Haidvogel et al., *Journal of Computational Physics*, 227, 3595-3624.
- Silva, N., N. Rojas, and A. Fedele, 2009: Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile, *Deep-Sea Research Part II*, doi:10.1016/j.dsr2.2008.12.013.
- Strub, P. T., J. M. Mesias, V. Montecino, J. Rutllant, and S. Salinas, 1998: Coastal ocean circulation off western South America, in *The Sea*, vol. 11, 273 - 314.
- Toggweiler, J. R., K. Dixon, and W. S. Broecker, 1991: The Peru upwelling and the ventilation of the South Pacific thermocline, *Journal of Geophysical Research*, 96, 20467 - 20497.
- Wang, C., and P. C. Fidler, 2006: ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review, *Progress in Oceanography*, 69, 239-266.

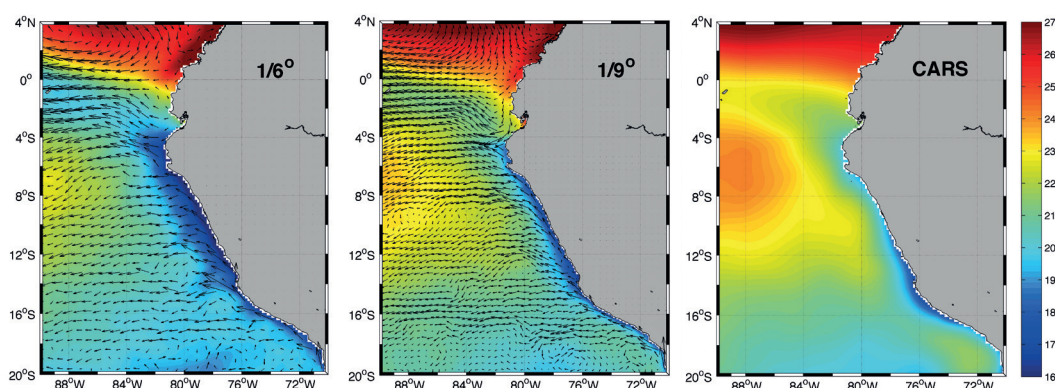


Figura 1. Dominio del modelo, corrientes superficiales (flechas) y temperatura superficial del mar (TSM) promedio anual ($^{\circ}\text{C}$, en color) obtenida de la simulación de $1/6^\circ$ (panel izquierdo) y $1/9^\circ$ (panel central). Las temperaturas modeladas son comparadas con la temperatura promedio anual calculada a partir de la base de datos observacionales CARS (CSIRO Atlas of Regional Seas, <http://www.cmar.csiro.au/cars>, panel derecho).