

RESERVA NACIONAL DORSAL DE NASCA: EXPERIMENTO NUMÉRICO BAJO CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

Ivonne Montes¹, Roger Manay¹

¹ Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú

Palabras clave: Reserva Nacional Dorsal de Nasca, modelado numérico, ROMS, partículas lagrangianas

Citar como Montes, I., & Manay, R. (2023). Reserva Nacional Dorsal de Nasca: experimento numérico bajo condiciones climatológicas. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 10 n.º 04, págs. 11-15.

Resumen

Se realiza un experimento numérico bajo condiciones climáticas empleando el modelo numérico del océano ROMS (Regional Ocean Modelling System) para examinar el origen de las fuentes de agua que se localizan en la Reserva Nacional Dorsal de Nasca (RNDN). Los resultados preliminares indican que la RNDN está fuertemente conectada con la zona del afloramiento costero y recibe, además, agua de las regiones oceánicas provenientes de la zona norte, sur y oeste del océano Pacífico este.

1. Introducción

El rol del océano es fundamental para mantener la vida en nuestro planeta, especialmente porque actúa como un regulador de la concentración de gases atmosféricos, la temperatura global y, por ende, del clima de la Tierra. El océano es, además, el hábitat de un gran número de organismos y ecosistemas marinos que sustentan una serie de bienes y servicios que se traducen en miles de millones de dólares por año (Hoegh-Guldberg et al., 2018). El reporte especial del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2018), que explica los impactos del calentamiento global de 1.5 °C (valor por encima de los niveles preindustriales), indica que, por el aumento del dióxido de carbono (CO₂) atmosférico y otros

gases de efecto invernadero, se han evidenciado cambios físicos y biogeoquímicos en el océano. A su vez, dichos cambios han causado alteraciones significativas en los sistemas oceánicos, los cuales continuarán a 1.5 °C y serán aún más severos a 2° C. Por tanto, el océano está experimentando la acción de múltiples factores de estrés (calentamiento, cambios en la estratificación térmica, acidificación y desoxigenación) (Garcon et al., 2019), cuya combinación, a menudo, da forma a los ecosistemas marinos (Breitburg et al., 2018). Una de las medidas de adaptación para reducir el estrés y aumentar la resiliencia de los ecosistemas marinos es el establecimiento de áreas marinas protegidas (Breitburg et al., 2018), las cuales se instauran como zonas de refugio y regiones para desarrollar adaptación basada en la naturaleza, y permiten así mantener los servicios ecosistémicos que incluyen la absorción y almacenamiento de carbono (IPCC, 2019). En tal sentido, con el objetivo de conservar una muestra representativa del ecosistema marino que se encuentra en el dominio marítimo peruano, se crea, en 2021, la primera área natural protegida netamente marina del Perú, denominada Reserva Nacional Dorsal de Nasca (RNDN, Decreto Supremo N°008-2021-MINAM).

La RNDN está localizada frente a la costa peruana y corresponde al 8 % del área marina peruana. Se encuentra en la parte norte del Sistema de Corrientes

de Humboldt, el cual es también una de las regiones más productivas del planeta y que forma parte de los denominados Sistemas de Afloramiento de Bordes Orientales (EBUS por sus siglas en inglés). Los EBUS, geográficamente conformados por los Sistemas de Corrientes de Canarias y Benguela en el océano Atlántico y los Sistemas de Corrientes de California y Humboldt en el océano Pacífico, proporcionan más peces por unidad de área que cualquier otra parte del océano global, lo que contribuye a la seguridad alimentaria y el empleo (Chavez & Messié, 2009). Además, los EBUS respaldan valiosos servicios ecosistémicos para la biosfera y la humanidad. Actualmente, los EBUS son las áreas más vulnerables a los múltiples factores de estrés que experimenta el océano y hay una alta incertidumbre en la naturaleza de los cambios debido a su dinámica local que, además, está influenciada por la variabilidad climática remota.

Si bien la RNDN ha sido reconocida por su riqueza y así por su importancia económica y ecológica (p. ej., Wagner et al., 2021), existen aún preguntas no resueltas o pobremente entendidas, como por ejemplo: ¿cómo se conecta esa región oceánica con la región de afloramiento costero?, ¿cuáles son sus fuentes de variabilidad?, ¿qué influencia ejerce la variabilidad

interanual de El Niño-Oscilación Sur sobre la zona de reserva?, entre otras. Por lo tanto, el propósito de esta investigación es, primero, examinar el origen de las fuentes de agua que se localizan en la RNDN mediante la modelación numérica (e. g., Montes et al., 2010; 2011; 2014) a fin de establecer cuán conectada se encuentra con la región de afloramiento costero.

2. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación, se ha configurado el modelo numérico del océano ROMS (Regional Ocean Modelling System, Shchepetkin and McWilliams 2003; 2005) bajo condiciones climatológicas para la región comprendida entre los 12° N- 45° S y los 120° O hasta la costa de América (Figura 1). Con los datos numéricos generados a partir de este modelo, se han realizado experimentos lagrangianos que se basan en el uso del módulo de seguimiento de partículas, denominado Roff (ROMS-offline, Capet et al., 2004), para calcular las trayectorias lagrangianas numéricas a partir de los campos de velocidad almacenados por ROMS. Este tipo de aproximación lagrangiana es uno de los métodos más apropiados para estudiar el origen y

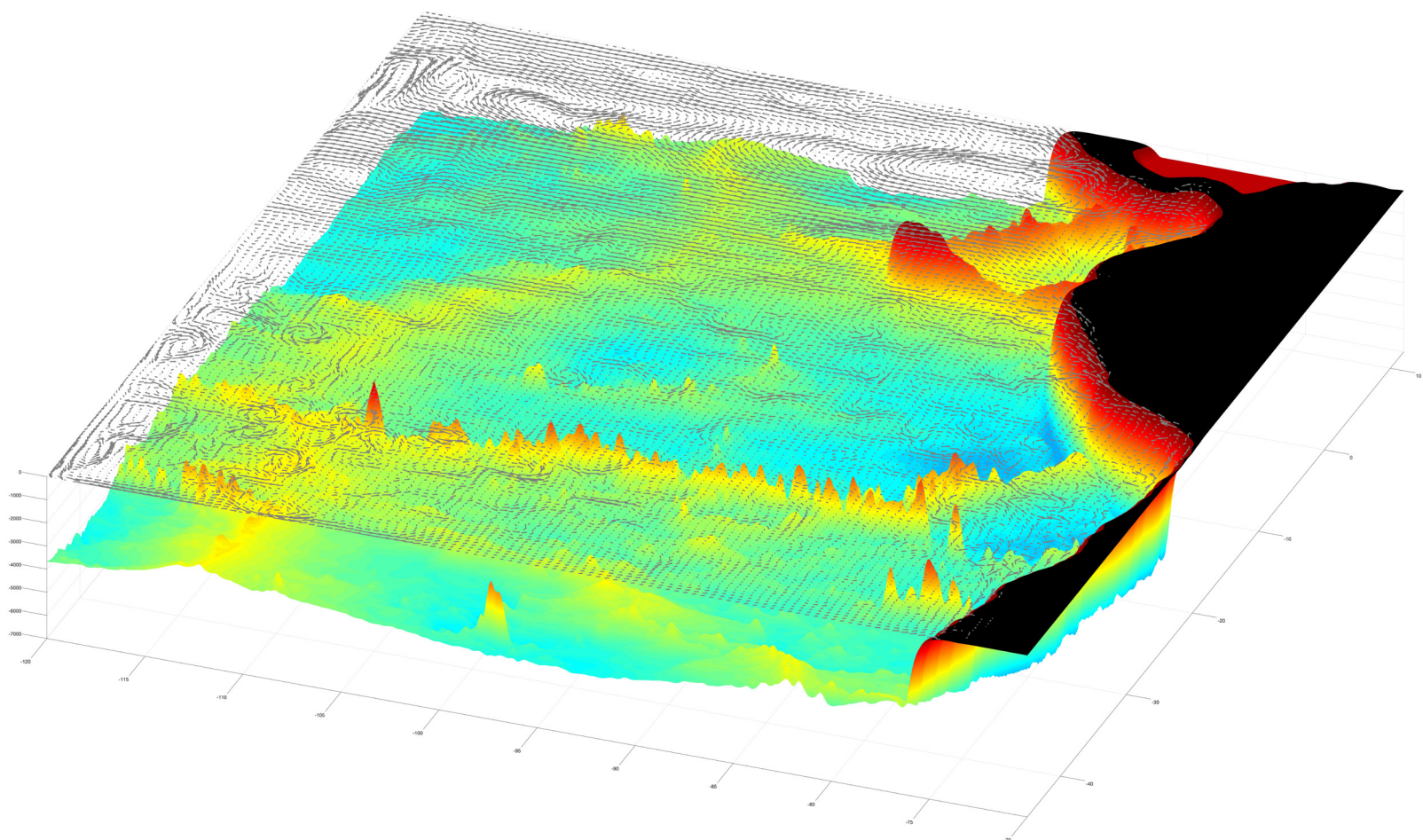


Figura 1. Ejemplo de las corrientes superficiales modeladas (en gris, 1 vector cada 4 puntos de grilla) para el día 3 de abril del año 15 del modelo que muestra la región de estudio y la batimetría (en colores) del modelo.

destino de las masas de agua (p. ej., Blanke et al., 2002; Montes et al., 2010; Hailegeorgis et al., 2021).

El experimento lagrangiano consistió en ubicar un gran número de partículas virtuales (5615) distribuidas aleatoriamente, entre los 2000 y 3000 metros de profundidad, en una región que representa la RNDN (Figura 2), y calcular sus trayectorias en forma retrospectiva, es decir, hacia atrás en el tiempo durante 4 años climatológicos, ello con el fin de identificar el origen de las masas de agua que influyen a la RNDN. Posteriormente, se aplicó una serie de criterios para clasificar las distintas regiones de origen del agua localizada sobre la RNDN, como por ejemplo seleccionar partículas que (1) cruzan la sección a los 90° O al norte de los 10° S, (2) a los 84° S entre los 14° S y 16° S, (3) a los 90° O al sur de los 17° S, (4) a los 24° S y (5) los que permanecen sobre la plataforma costera.

3. Resultados preliminares y perspectivas

El análisis preliminar de las trayectorias de los flotadores muestra que el agua localizada sobre la

RNDN está muy bien conectada con la dinámica del Sistema de Corrientes de Humboldt, por lo que tiene una contribución significativa con la zona costera de afloramiento. La Figura 2 muestra, además, que la RNDN estaría bien conectada con las regiones oceánicas provenientes de la zona norte, sur y oeste del océano Pacífico este. Por ejemplo, en la zona norte cerca a los 7° S-8° S y 90° O-84° O, se observa como punto de inicio una partícula lagrangiana y más al este un grupo de partículas (simuladas) cuyas trayectorias se dirigen de este hacia oeste (~2500 m de profundidad) para llegar a la zona de afloramiento costero frente a Perú (~8° S) de forma más subsuperficial (entre 500 y 1000 m). Esto indicaría, por ejemplo, un aporte del ramal sur secundario de la contracorriente subsuperficial (sSSCC) frente a Perú. Por otro lado, en la zona costera norte, (Perú-Ecuador), también es posible observar partículas lagrangianas subsuperficiales (>500 m) con dirección sur, lo que indicaría un aporte o influencia de la corriente ecuatorial subsuperficial (EUC) y, más cercana a la costa, el aporte de la corriente subsuperficial Perú-Chile (PCUC).

Como el océano es un subsistema acoplado a la atmósfera, el conocimiento del principal forzante

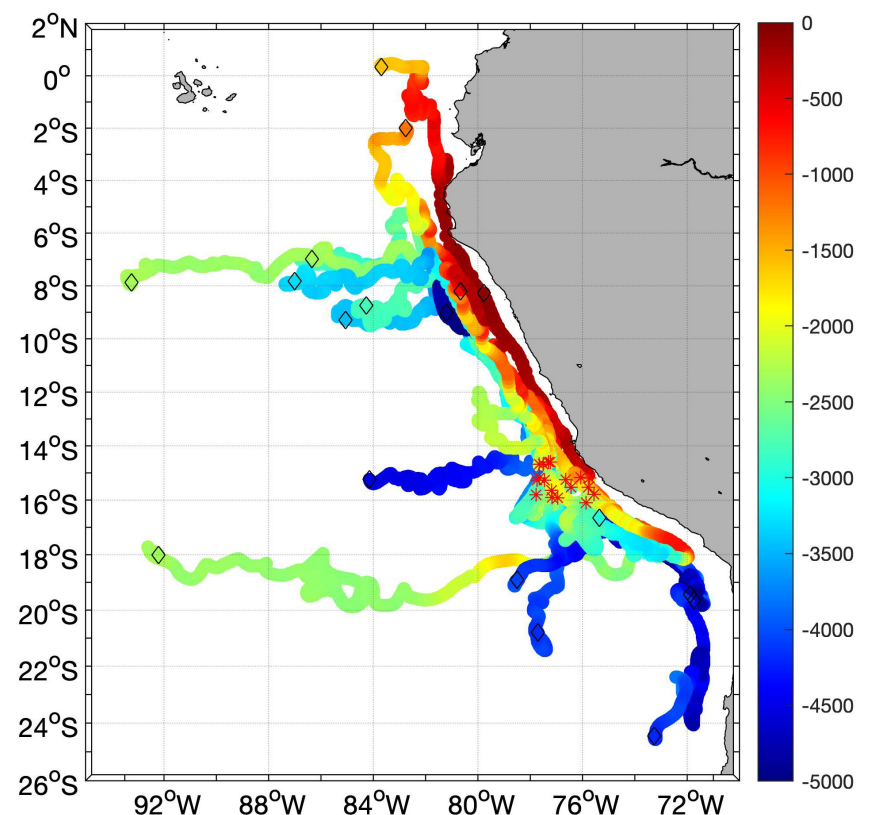
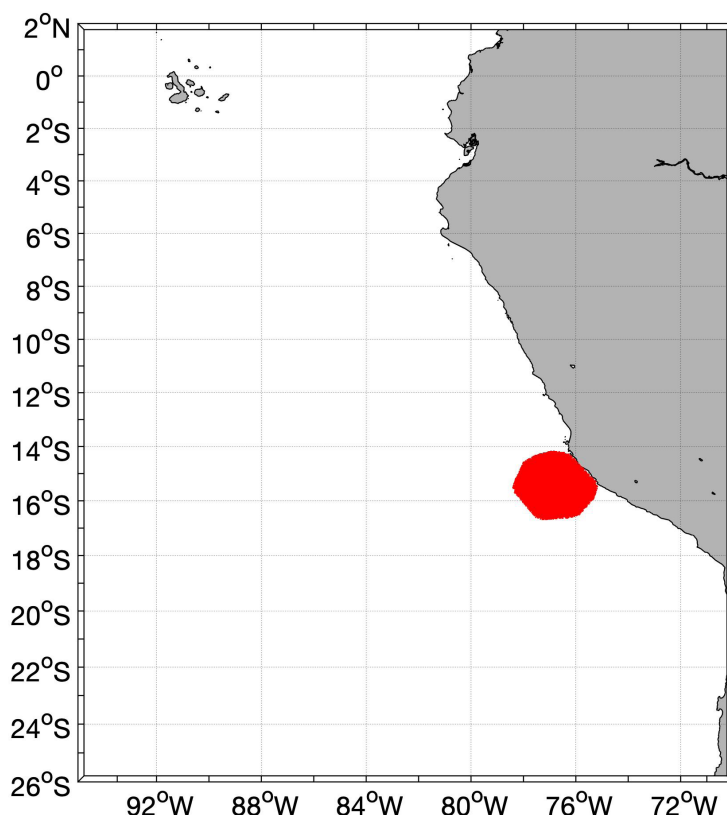


Figura 2. (Panel izquierdo) Posición inicial de los flotadores lagrangianos ubicados entre los 2000 y 3000 metros de profundidad por 4 años climatológicos bajo el modo retrospectivo para conocer el origen de las fuentes de agua que se localizan en la Reserva Nacional Dorsal de Nasca (RNDN). (Panel derecho) Diagrama espagueti que muestra las trayectorias de 18 flotadores que representan las rutas típicas de las fuentes de agua que alcanzan la RNDN. Las posiciones iniciales se marcan en asterisco rojo y las posiciones finales en rombos negros. Los colores representan la profundidad de los flotadores a lo largo de su trayectoria.

superficial, el viento y el esfuerzo del viento superficial al océano resulta de suma importancia. Esto es debido a que las corrientes superficiales se encuentran en función de la acción directa del viento, lo que significa que las propiedades y condiciones en las capas superficiales del océano (capa de mezcla) se ven muy influenciadas por el estado o acción del viento. Este acoplamiento océano-atmósfera tendría relevancia en la mezcla de las propiedades físicas y químicas de las masas de aguas, a través de la acción del viento, en la formación de procesos de mesoescala como filamentos y remolinos que otorgan características propias a la RNDN.

Por otro lado, teniendo como base estos resultados preliminares y con la intención de ampliar el conocimiento integral sobre la RNDN, podrían llevarse a cabo estudios y análisis sobre los campos biogeoquímicos en esta región del Pacífico. Por ejemplo, es sabido que la presión antrópica en la zona costera adyacente a la RNDN, donde se encuentran zonas de industrias pesqueras y metalúrgicas, además del asentamiento humano de ciudades y centros poblados, podría ser fuente de contaminantes como metales pesados (procedentes de relaves y desechos mineros, lixiviación), microplásticos y, potencialmente, plásticos y todo tipo de contaminantes o residuos sólidos, sustancias químicas (orgánicas e inorgánicas del tratamiento precario de aguas servidas), entre otros. Ya que se ha observado en los resultados preliminares que el origen de las masas de aguas incluye trayectorias superficiales cercanas a la costa, esto implicaría distintos grados de contaminación en los ecosistemas de la RNDN por las causas antes mencionadas.

Con el conocimiento del origen de las masas de aguas y sus trayectorias podríamos conocer los caminos o flujos por los que la materia orgánica ingresa/sale de RNDN, es decir, determinar la existencia de un intercambio de materia orgánica entre la zona del afloramiento costero y la propia RNDN que pueda explicar la importancia de mantener un área marina de conservación que sustente la riqueza biológica. Asimismo, el conocimiento de estos flujos o conexiones entre las masas de aguas y sus trayectorias permitirían tener una conceptualización sobre la ventilación o grado de saturación de las masas de agua, lo que es de gran importancia para el establecimiento de las

condiciones de la zona mínima de oxígeno y también para conocer el grado de contribución de esta área en el secuestro del carbono.

Todos estos nuevos conocimientos, basados en experimentación mediante modelos numéricos regionales del océano, sumados a tentativos muestreos in situ o análisis de muestras almacenadas, permitirán tener un conocimiento tridimensional real sobre la RNDN, sus condiciones o estado promedio hasta los modos en los que la variabilidad interanual podría afectar la reserva. Asimismo, permitirán conocer los alcances de la presión antropogénica de la zona costera colindante, potencialmente peligrosa para la salud del océano y de la misma RNDN que, en suma, serán de primer alcance para una gobernanza marino-costera más realista y enfocada al cuidado del medio ambiente. Con la premisa de ciencia para protegernos, ciencia para avanzar del IGP, la difusión del nuevo conocimiento será clave para la educación de estudiantes y grupos críticos de personas que se benefician directa e indirectamente de RNDN, de modo que inspire y motive a todos los involucrados en su conservación y uso a lo largo de los años venideros.

Finalmente, todo el esfuerzo, estrategias e inversión para el estudio de la RNDN podrán contribuir en la capacidad de desarrollo en análisis y estudio en estudiantes, investigadores de todo nivel y demás involucrados, dando como productos nuevas bases de datos de índole oceanográfica (temperatura, salinidad, nutrientes, corrientes, pH, entre otros), aprendizaje en la preparación y despliegue de equipos para mediciones, manejo de instrumentos especializados para análisis de matrices inorgánicas (agua, sedimentos, aerosoles), entrenamiento en el uso y desarrollo de códigos (scripts) en lenguajes de programación científica como MATLAB, Python, R, entre otros.

Referencias

- Breitburg, D., Levin, A., Oschlies, A., Grégorie, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., ... Zhang, J. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359, doi:10.1126/science.aam7240
- Capet, X. J., Marchesiello, P., & McWilliams, J.C. (2004). Upwelling response to coastal wind profiles. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13311, doi:10.1029/2004GL020123.

Chavez, F. P., & Messié, M. (2009). A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83(1), 80–96. doi:10.1016/j.pocean.2009.07.032

Garçon, V., Dewitte, B., Montes, I., & Goubanova, K. (2019). *Land-Sea-Atmosphere interactions exacerbating ocean deoxygenation in Eastern Boundary Upwelling Systems (EBUS)*, in *Ocean Deoxygenation: Everyone's problem, Causes, impacts, consequences and solutions*, Eds D. Laffoley and J.M. Baxter, IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources Report, Gland, Switzerland), pp 171-186.

Hailegeorgis, D., Lachkar, Z., Rieper, C., & Gruber, N. (2021). A Lagrangian study of the contribution of the Canary coastal upwelling to the nitrogen budget of the open North Atlantic. *Biogeosciences*, 18, 303–325, <https://doi.org/10.5194/bg-18-303-2021>

Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K.L., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S.I., Thomas, A., Warren, R. & Zhou, G. (2018). *Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems*. In: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC, 2018: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC, 2019: *Summary for Policymakers*. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–35.

Montes I., Colas, F., Capet, X., & Schneider, W. (2010). On the pathways of the Equatorial Subsurface Currents in the Eastern equatorial Pacific and their contributions to the Peru-Chile Undercurrent. *J. Geophys. Res. Oceans*, 115(C09003), doi:10.1029/2009JC005710.

Montes, I., Dewitte, B., Gutknecht, E., Paulmier, A., Dadou, I., Oschlies, A., & Garçon, V. (2014). High-resolution modeling of the Eastern Tropical Pacific oxygen minimum zone: Sensitivity to the tropical oceanic circulation. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 5515–5532, doi:10.1002/2014JC009858.

Montes I., Schneider, W., Colas, F., & Blanke, B. (2011). Subsurface connections in the Eastern Tropical Pacific during La Niña 1999-2001 and El Niño 2002-2003. *J. Geophys. Res.*, 116 (C12022), doi: 10.1029/2011JC007624.

Shchepetkin, A.F., & McWilliams, J.C. (2003). A method for computing horizontal pressure-gradient force in an ocean model with a nonaligned vertical coordinate. *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3090, doi:10.1029/2001JC001047.

Shchepetkin, A. F., & McWilliams, J.C. (2005). The regional oceanic modeling system (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography following-coordinate oceanic model. *Ocean Modell.*, 9, 347–404, doi:10.1016/j.ocemod.2004.08.002.

Wagner, D., van der Meer, L., Gorny, M., Sellanes, J., Gaymer, C. F., Soto, E. H., ... Morgan, L. E. (2021). The Salas y Gómez and Nazca ridges: A review of the importance, opportunities and challenges for protecting a global diversity hotspot on the high seas. *Marine Policy*, 126, 104377. doi:10.1016/j.marpol.2020.104377