

# La importancia de monitorizar el océano en una región de alta variabilidad espacio-temporal

*Eva Prieto & Ivonne Montes  
Instituto Geofísico del Perú*

## INTRODUCCIÓN

La Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la costa oeste de América del Sur oscila en escala interanual, modulada por procesos tropicales asociados a El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), y en escala interdecadal influenciada por procesos asociados a la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), que afecta a escalas de cuenca oceánica, incluso a escalas globales (Montecinos et al., 2003). La circulación en el Océano Pacífico Sur Este está dominada por la circulación de gran escala del anticiclón subtropical del Pacífico Sur (South Pacific Subtropical Anticyclone, SPSA), cuya rama más oriental es la corriente de Humboldt (o corriente de Perú-Chile). En escala interanual, durante la fase cálida del ENSO, es decir El Niño, la intensidad del SPSA y de los vientos asociados disminuye y, por lo tanto, también, la cantidad de agua fría que es aflorada a la superficie, debido a la profundización de la termoclina en el Pacífico sureste (Carr et al., 2002). Este mecanismo, junto con la mayor advección de aguas cálidas ecuatoriales, contribuye a calentar las aguas superficiales de las costas de América del Sur. Durante la fase fría del ENSO, es decir La Niña, la intensidad del SPSA aumenta, intensificándose los vientos, elevándose la termoclina en la columna de agua y enfriándose las aguas superficiales. En escala interdecadal, durante la fase cálida/fría de PDO se

observan anomalías positivas/negativas de la TSM a lo largo de las costas de América del Sur (Mantua and Hare, 2002). Por tanto, superpuesta a la variabilidad interanual asociada al ENSO encontramos una variabilidad de escala mayor (decadal o interdecadal), cuyos efectos pueden sumarse o contrarrestarse, amplificando o amortiguando estas anomalías.

En las últimas décadas la TSM y la salinidad superficial en el Pacífico sureste ha disminuido como consecuencia de la intensificación de la circulación del SPSA (Schneider et al., 2007). Desde los años 1950, la región del margen continental del centro-sur de Perú se caracterizó por una disminución de la TSM del orden de 0.02-0.04 °C/año, un enfriamiento no lineal de la superficie del mar que se asoció a una intensificación de los vientos alisios con el consiguiente incremento del afloramiento y de la productividad en la región (Gutiérrez et al., 2011). En la región de afloramiento del centro-sur de Chile los cambios se caracterizaron de igual forma por un enfriamiento de toda la columna de agua, asociado a la intensificación pero también al desplazamiento hacia el sur del SPSA (Schneider et al., 2017). Este enfriamiento parece contradecir el calentamiento que se ha venido observando en el océano a nivel mundial desde los años 1970 (IPCC, 2014).

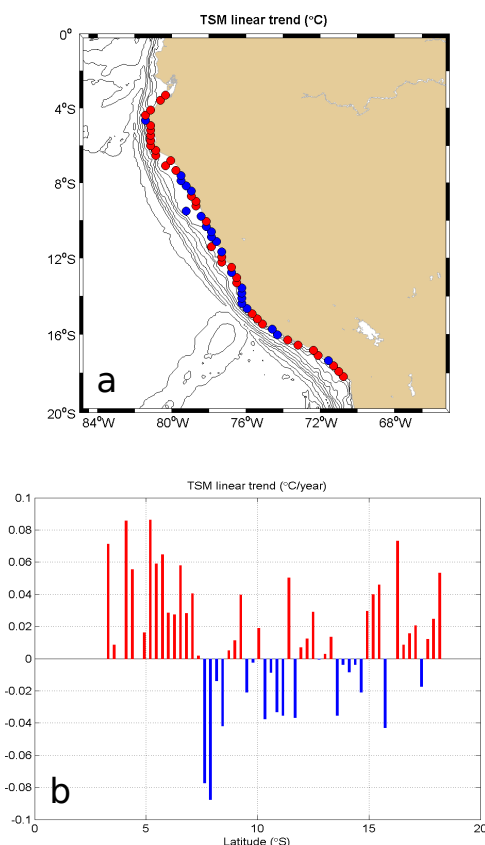
El océano representa más del 80% de la energía acumulada por el sistema climático terrestre, y en

particular, el océano profundo (las capas que no están en contacto directo con la atmósfera) juegan un papel relevante, por lo que es necesario monitorizar estas capas profundas. Disponer de datos observados *in situ* por debajo de la superficie del mar permite trazar los cambios que sufren las propiedades de las masas de agua oceánicas; estos cambios pueden deberse a (1) cambios en los flujos océano-atmósfera en sus regiones de formación o a la llegada de masas de agua con diferentes propiedades hacia la zona de estudio, y son cambios observados en superficies de densidad constante reflejados como desplazamientos en el diagrama T-S. Por otro lado, las propiedades de las masas de agua pueden variar asociados a (2) la profundización o elevación de las superficies de densidad en el tiempo, por cambios en la circulación o por cambios en las tasas de renovación (volumen de masa de agua generado en la región de formación) debido a cambios en los vientos. En la realidad, los mecanismos físicos (1) y (2) se encuentran entrelazados en el sistema océano-atmósfera, pero pueden separarse y cuantificarse usando la aproximación matemática de Bindoff & McDougall (1994), que trabaja en la variable densidad neutra del agua de mar (Jackett & McDougall, 1997).

## RESULTADOS PRELIMINARES

Gracias a la accesibilidad de datos históricos disponibles a través de base datos internacionales, por ejemplo World Ocean Data Base 2013 (WODB13, Boyer et al., 2013), se realiza un análisis retrospectivo de la temperatura superficial del mar (TSM) que abarca el periodo 1961-2005. En este trabajo, usando datos de estaciones oceánicas (que incluyen datos de CTDs de baja resolución y Expendable CTD (XCTD) tomados desde barcos), se calculan y analizan las tendencias lineales de la TSM en distintas localizaciones a lo largo de la costa peruana. Las estaciones seleccionadas están separadas aproximadamente  $0.3^\circ$  en latitud. Para cada estación más próxima a la costa y más muestreada, se obtuvo la serie temporal de la TSM, y se interpoló de manera diaria entre el 1 de enero de 1961 y 31 de diciembre de 2005 para extraer su tendencia lineal en  $^\circ\text{C}/\text{año}$ .

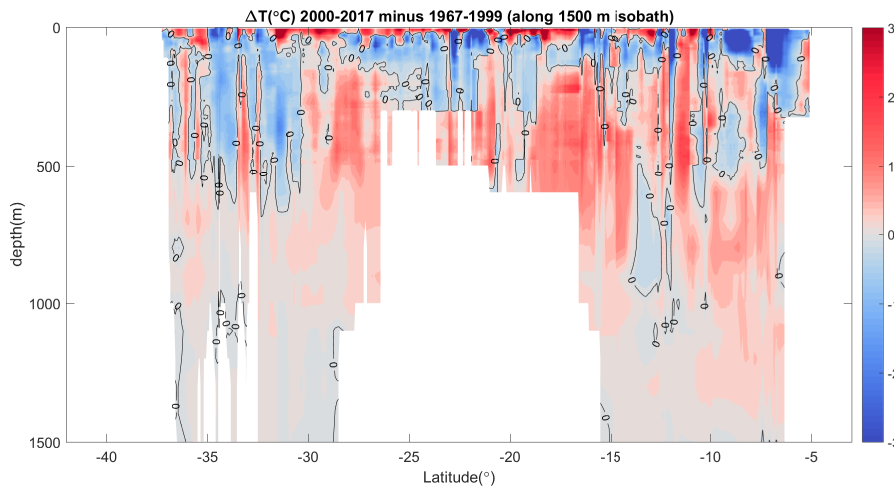
El análisis de la TSM a lo largo de la costa peruana evidenció una gran variabilidad latitudinal de las tendencias en 1961-2005. Mientras que en la región centro-sur predomina una tendencia al enfriamiento de la superficie del océano, en la región norte (al norte de  $\sim 8^\circ\text{S}$ ) la tendencia es al calentamiento (Figura 1a). En general, las tendencias de calentamiento encontradas para la TSM en la región norte de Perú ( $\sim 0.1^\circ\text{C}/\text{año} \Rightarrow 1^\circ\text{C}/\text{década}$ , Figura 1b) casi triplican, y con signo opuesto, las tendencias al enfriamiento encontradas en la región centro-sur de Perú en estudios previos ( $\sim 0.36^\circ\text{C}/\text{década}$ ), poniendo en evidencia la alta variabilidad latitudinal en esta región y por tanto la importancia de aumentar la resolución espacial de las observaciones a lo largo de la costa.



**Figura 1.** a) Estaciones más cercanas a la costa: el color indica el signo de las tendencias encontradas para la TSM en el periodo 1961-2005. Rojo (positivo) / azul (negativo) indica tendencia al aumento/diminución de la TSM. b) Cuantificación de estas tendencias lineales ( $\Delta\text{TSM}/\text{año}$ ). Barras en rojo / azul indican tendencia lineal positiva / negativa o aumento/diminución de TSM.

Para cuantificar los cambios de temperatura y salinidad hasta las profundidades intermedias ( $\sim 0-1000$  m) de una sección costera entre  $3^\circ\text{S}-42^\circ\text{S}$  (extensión al norte de la sección KRILL de Silva et al., 2009) se usaron datos de CTD disponibles en WODB13 durante el periodo 1967-2017, en la región  $3^\circ-42^\circ\text{S}$ ,  $70^\circ-85^\circ\text{W}$ . Como cada perfil está disponible para diferentes niveles observados y los datos están distribuidos de manera dispersa, primero se interpolaron verticalmente los perfiles cada 1 m entre superficie-fondo, y bidimensionalmente a las posiciones (longitud, latitud) de la isóbata de 1500 m de profundidad a lo largo de las costas de Perú y Chile. El análisis de los cambios promediados a lo largo de la sección costera evidencia un enfriamiento y disminución de la salinidad en las capas más superficiales (en concordancia con estudios anteriores), y la presencia de aguas intermedias ( $>200$  m) más cálidas/ salinas y menos densas después del año 2000, debido a cambios en la circulación de gran escala.

Sin embargo, los cambios a lo largo de la sección evidencian también una alta variabilidad latitudinal sobretodo en las capas superiores del océano ( $< 100-150$  m), como es el caso de la temperatura (Figura 2). Esto podría deberse a la distribución dispersa (temporal y espacial) de los datos disponibles o, tal y



**Figura 2.** Sección vertical (0-1500 m) de las diferencias de temperatura (°C) en función de la latitud a lo largo de una sección costera frente a las costas de Perú y Chile (siguiendo sección KRILL de Silva et al., 2009), usando datos de CTD disponibles en WODB13 para los periodos 1967-1999 y 2000-2017.

como observamos en la Figura 1 analizando una base de datos independiente, a una variabilidad local que depende de la latitud en que se mida, y que el punto de muestreo sea más cercano o alejado de la costa.

Frente a estos resultados preliminares, sería necesario replantear la forma de monitorizar la costa peruana, de tal manera que se pueda cubrir, en lo posible, las escalas espaciales y temporales para no tener estas incertidumbres en el análisis de los datos. Por tal motivo, se ha propuesto monitorizar la costa siguiendo la isobata de 1500m durante la travesía del BAP Carrasco hacia la Antártida (aprox. fin de noviembre) y a su retorno (aprox. fin de febrero); es decir durante las Campañas ANTAR. Al tener doble registro durante los meses más cruciales del desarrollo del Fenómeno El Niño, se podrá entender tanto los procesos de acoplamiento océano-atmósfera como los procesos advectivos y la respuesta del océano profundo en un contexto de cambio climático.

## REFERENCIAS

Bindoff, N.L. and T.J., McDougall. (1994). Diagnosing Climate Change and Ocean Ventilation Using Hydrographic Data. *J. Phys. Oceanogr.*, 24, 1137-1152, doi: 10.1175/1520-0485(1994)024<1137:DCCAOV>2.0.CO;2

Boyer, T.P. et al. (2013). *World Ocean Database 2013*. Sydney Levitus, Ed.; Alexey Mishonov, Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 72, 209 pp.

Carr, M.E. et al. (2002). Evolution of 1996-1999 La Niña and El Niño conditions off the western coast of South America: A remote sensing perspective. *J. Geophys. Res.* 107(C12): 29-1-29-16

Gutiérrez, D. et al. (2011). Coastal cooling and increased productivity in the main upwelling zone off Peru since

the mid-twentieth century, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L07603, doi: 10.1029/2010GL046324.

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jackett, D.R. and T.J., McDougall. (1997). A neutral density variable for the world's oceans, *Journal of Physical Oceanography*, vol. 27, pp. 237 - 263, doi: 10.1175/1520-0485(1997)027<0237:ANDVFT>2.0.CO;2

Mantua, N.J. and S.R., Hare. (2002). The Pacific Decadal Oscillation. *J. Oceanogr.* 58: 35-44. doi: 10.1023/A:1015820616384

Montecinos, A. et al. (2003). Interannual-to-interdecadal sea surface temperature variability along the western coast of South America. *Geophys. Res. Lett.* 30(11). doi: 10.1029/2003GL017345

Schneider, W. et al. (2007). Spin-up of South Pacific subtropical gyre freshens and cools the upper layer of the eastern South Pacific Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 34(24).

Schneider, W. et al. (2017). Water-column cooling and sea surface salinity increase in the upwelling region off central-south Chile driven by a poleward displacement of the South Pacific High. *Prog. Oceanogr.* 151, 38-48. doi: 10.1016/j.pocean.2016.11.004

Silva, N. et al. (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 Res. II* 56: 1004-1020, doi:10.1016/j.dsr2.2008.12.0