

Hacia un monitoreo continuo de variables oceanográficas en el Parque Nacional Isla de Flores, Uruguay

Towards continuous monitoring of oceanographic variables in Isla de Flores National Park, Uruguay

Rumo ao monitoramento contínuo de variáveis oceanográficas no Parque Nacional Isla de Flores, Uruguai

RECIBIDO: 27/7/2020 → APROBADO: 21/10/2020 ✉ r.trinchin@inumet.gub.uy

✉ TRINCHIN, ROMINA (1) (2); MANTA, GASTÓN (1); SANTANA, RAFAEL (1); RUBIO, LUIS (3); HORTA, SEBASTIÁN (4); PASSADORE, CECILIA (3); DE MELLO, CECILIA (1); SZEPHEGYI, MARÍA NUBE (3); BARREIRO, MARCELO (1)

(1) DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, FACULTAD DE CIENCIAS, UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. MONTEVIDEO, URUGUAY.

(2) INSTITUTO URUGUAYO DE METEOROLOGÍA. MONTEVIDEO, URUGUAY.

(3) DEPARTAMENTO DE GESTIÓN COSTERA Y MARINA, MINISTERIO DE AMBIENTE. MONTEVIDEO, URUGUAY.

(4) DIVISIÓN SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE AMBIENTE. MONTEVIDEO, URUGUAY.

RESUMEN

Las mediciones continuas de variables ambientales en zonas costeras son fundamentales para comprender la compleja dinámica de los procesos oceanográficos y atmosféricos, así como mejorar la comprensión del medio marino para fines operativos y de conservación que se puedan integrar en un proceso de planificación espacial marina. En Uruguay se han llevado adelante distintos esfuerzos para la generación de este tipo de información *in situ*, pero en su mayoría no lograron mantenerse en el tiempo, principalmente por los altos costos operativos y de mantenimiento de sensores específicos. En este trabajo se presentan los resultados preliminares de más de un año de mediciones continuas de temperatura y salinidad en el Río de la Plata, obtenidos a partir de soluciones de bajo costo y un fuerte trabajo de coordinación multiinstitucional entre la academia y organismos del Estado. Las mediciones fueron obtenidas a partir de la instalación de sensores DST-CTD en el Parque Nacional Isla de Flores, un sitio clave para el muestreo de la zona exterior del Río de la Plata. Se destaca el valor de contar con este tipo de información, y se discute la importancia y complejidad de la implementación de un sistema de monitoreo continuo a largo plazo.

PALABRAS CLAVE: mediciones *in situ*, DST-CTD, Río de la Plata.

ABSTRACT

Continuous measurements of environmental conditions in coastal zones are key to understanding oceanographic and atmospheric processes, as well as improving the understanding of the marine environment for operational and conservation purposes that can be integrated into a marine spatial planning process. Several efforts have been made in Uruguay in order to achieve these goals, but they have not sustained over time due to high operative and maintenance costs of specific sensors. This work presents the first results of more than a year of continuous measurements of temperature and salinity in the Río de la Plata obtained using a low cost solution and through a high-commitment multi-institutional teamwork between the academy and state agencies. Measurements were obtained with a DST-CTD sensor installed in Isla de Flores National Park, a key sampling point for the external zone of Río de la Plata. The relevance of having this type of information is presented and the need for the implementation of a continuous long-term monitoring system is discussed.

KEYWORDS: *in situ* measurements, DST-CTD, Río de la Plata.

RESUMO

Medições contínuas de variáveis ambientais nas áreas costeiras são essenciais para entender a complexidade na dinâmica dos processos oceanográficos e atmosféricos, e para melhorar a compreensão do ambiente marinho para fins operacionais e de conservação que podem ser integrados num processo de planejamento espacial marinho. No Uruguai, diferentes esforços foram feitos para gerar esse tipo de informação *in situ*, mas a maioria não pôde ser conservada ao longo do tempo, principalmente devido aos altos custos operacionais e de manutenção de sensores específicos. Este trabalho apresenta os resultados preliminares de mais de um ano de medições contínuas de temperatura e salinidade no Rio de la Plata, as quais foram obtidas a partir de soluções de baixo custo e um forte trabalho de coordenação multi-institucional entre a academia e as agências estaduais. As medidas foram obtidas com sensores DST-CTD instalados no Parque Nacional Isla de Flores, uma importante locação para amostragem da área externa do Rio de la Plata. O valor de ter esse tipo de informação é destacado e discute-se a importância e a complexidade da implementação de um sistema de monitoramento contínuo de longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: medições *in situ*, DST-CTD, Río de la Plata.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de monitoreo continuo del medio marino son de gran relevancia para mejorar pronósticos de tiempo y detectar efectos de cambio climático; así como entender procesos físicos, químicos y biológicos que allí ocurren, y predecir los efectos de las actividades humanas en los ecosistemas marinos (Soreide, et al., 2001; Merchant, et al., 2019). Asimismo, son un insumo importante para la gestión de actividades marítimas operativas.

La generación de series temporales largas de variables medidas *in situ* cobra particular relevancia para complementar los datos que se pueden obtener a partir del

registro por sensoramiento remoto o de los datos de reanálisis atmosféricos y oceánicos. En particular, el dato satelital nos brinda información de la superficie con una gran cobertura espacial que suele tener varias ausencias de datos cuando hay nubosidad. En cambio, con la medición *in situ*, aunque la cobertura espacial de los mismos suele ser muy reducida, obtenemos datos de alta precisión (Merchant, et al., 2019).

Asimismo, es necesario comparar los datos satelitales y de reanálisis con mediciones *in situ* para validarlos, especialmente en áreas costeras, y para ello se requiere contar con series temporales largas y de alta frecuencia (Bao, et al., 2019; Merchant, et al., 2019). Esta información cobra aún mayor relevancia si consideramos que se puede correlacionar con otro tipo de información, como la meteorológica y la biogeoquímica, para ampliar el monitoreo a nivel ecosistémico. De esta manera se fortalecen distintas actividades que se desarrollan en la costa, como las logísticas, de investigación, de explotación de recursos naturales, de conservación y de seguridad en el mar, contribuyendo así a procesos de planificación del espacio costero-marino (Echevarría, et al., 2016).

A nivel global, existe una gran cantidad de proyectos dirigidos a monitorear los océanos de manera continua a partir de distintos abordajes (por ejemplo, PIRATA, Argo, etcétera.; Merchant, et al., 2019). Sin embargo, están dirigidos a monitorear el océano abierto, quedando el monitoreo de las zonas costeras restringido a los esfuerzos realizados a nivel nacional o regional (por ejemplo, SiMCosta, s.d.). En Uruguay, existen antecedentes de proyectos binacionales que implementaron boyas oceanográficas en el Río de la Plata, en puntos alejados de la línea de costa (por ejemplo, Oyarvide, Pilote Norden, Boya Oceanográfica; Simionato, et al., 2011; Santoro et al., 2013; Fossati, et al., 2014), pero los monitoreos se vieron interrumpidos por diversas razones, entre ellas los altos costos de mantenimiento en las aguas turbias del Río de la Plata (Simionato, et al., 2011). Otras iniciativas privadas de recolección de datos *in situ*, vinculadas a emprendimientos económicos de diversa índole (regasificadora, planta de celulosa Montes del Plata, central térmica de Punta del Tigre, etcétera), funcionaron durante tiempos acotados y los datos allí generados son de difícil acceso.

El estuario Río de la Plata desemboca en el océano Atlántico, tiene una gran extensión (320 km de largo y su ancho varía entre 38 km en la naciente y 230 km en su desembocadura al océano), poca profundidad (media 10 m), y es micromareal (<1 m, Framiñan, et al., 1999; Santoro, et al., 2013). Fluye hacia la plataforma continental de Uruguay y Argentina, transportando aguas de los ríos Paraná y Uruguay, con un caudal de descarga medio de 22.000 m³/s, el cual presenta una baja estacionalidad y gran variabilidad interanual (Piola, et al., 2005). El estuario es muy susceptible a forzantes atmosféricos (Guerrero, et al., 1997; Simionato, et al., 2004; Meccia et al., 2013), por lo que la circulación en este sistema está principalmente determinada por la acción de los vientos locales y vientos remotos (Simionato, et al., 2008; Santoro, et al., 2013; Fossati, et al., 2014). Estos aspectos determinan que sea un estuario muy dinámico, caracterizado por tener una marcada variabilidad espacio-temporal y ser altamente productivo (Guerrero y Piola, 1997; Acha, et al., 2008).

Las características de este sistema determinan que la salinidad constituya una variable sumamente relevante en el área, ya que está estrechamente vinculada a la descarga del Río de la Plata y al viento, los cuales determinan una mayor o menor presencia de agua salobre. Asimismo, estas condiciones repercuten directamente en

aspectos vinculados a la calidad del agua (por ejemplo, floraciones de cianobacterias), la balneabilidad de las playas, la distribución de especies y los recursos pesqueros, entre otros (Jaureguizar, et al., 2003; Paesch, et al., 2014; Martínez, et al., 2017; Kruk, et al., 2019). Además de la salinidad, la temperatura del agua de mar es otra variable de gran importancia que permite caracterizar las propiedades del agua y la dinámica local.

En los últimos años se ha registrado un gran avance en los productos de sensoramiento remoto para medir estos parámetros físicos del océano, pero aún es necesario dirigir esfuerzos locales para generar mediciones continuas *in situ* (Bao, et al., 2019; Merchant, et al., 2019). En particular, los productos satelitales de temperatura superficial del mar (TSM) para la costa uruguaya capturan adecuadamente su variabilidad en distintas escalas, aunque tienden a suavizarlas (Simionato, et al., 2010; Manta, et al., 2018; Trinchin, et al., 2019). A pesar de que existen productos disponibles con gran resolución espacial (1 km) y resolución temporal diaria (por ejemplo, GHSST, Chin, et al., 2017), aún no es posible acceder a analizar la variabilidad durante el día. Por otro lado, si bien los productos satelitales de salinidad superficial han presentado gran desarrollo en los últimos años, incrementando su resolución espacial ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) y temporal (composición de 7 días para nuestra región, por ejemplo, los provenientes de los sensores SMOS o Aquarius), aún no hay mediciones remotas de salinidad cercanas a todas las costas del mundo; y en los casos donde sí hay, todavía no son confiables (Bao, et al., 2019).

Actualmente, Uruguay no cuenta con programas de monitoreo oceanográfico continuo de alta frecuencia (por ejemplo, un dato por hora). Existen algunos esfuerzos dirigidos a monitoreos de playas que son realizados por instituciones académicas o gobiernos departamentales (por ejemplo, ver referencias de datos usados en Kruk, et al., 2019; Lercari y Defeo, 2006), campañas específicas llevadas adelante por otras instituciones del gobierno o la universidad (por ejemplo, Ortega y Martínez, 2007), y monitoreo en tiempo real de altura del nivel del mar que se realiza con fines operativos a través de mareógrafos de la Administración Nacional de Puertos, (Uruguay. Administración Nacional de Puertos, s.d.).

En este contexto, a fines de 2018, con el fin de avanzar hacia la implementación de sistemas de monitoreo continuo en la costa uruguaya, así como poder contar con series temporales de datos *in situ* para investigación en ciencias del mar, nace una iniciativa producto del trabajo multiinstitucional entre el Departamento de Ciencias de la Atmósfera de la Facultad de Ciencias (Universidad de la República), el Departamento de Gestión Costera y Marina y la División Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la Dirección Nacional de Medio Ambiente, ambas del Ministerio de Ambiente, y el Instituto Uruguayo de Meteorología, con el apoyo del Ministerio de Defensa Nacional (a través del Servicio de Balizamiento de la Armada y la Prefectura Nacional Naval). Este trabajo tiene como objetivo presentar la información generada en los primeros 16 meses de registro continuo de variables *in situ* y sentar las bases para un proceso colaborativo interinstitucional de largo plazo. Además, se discute la correlación de la temperatura con datos satelitales de TSM, se caracteriza el ciclo diario y estacional de la temperatura *in situ*, y se analizan casos de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del instrumental e instalación

El instrumental consiste en sensores DST-CTDs de la marca STAR ODDI, con su *data logger* específico para programarlos y descargar los datos en una computadora. El *data logger* incluye una caja de comunicación que lee la información del sensor, y un programa específico (SeaStar) para pre-procesar y descargar esa información en formato digital (Figura 1a y b). Los DST-CTDs son equipos que registran las variables conductividad, temperatura y profundidad. Estos equipos son apropiados para su uso en zonas costeras, amarrados a un sitio o adheridos a redes, por lo cual son muy resistentes y versátiles. El rango de conductividad que se registra con distintos equipos es de 0.3-63 mS/cm y el rango de profundidad para el que están diseñados es de 1-500 m; según las características del sistema debe optarse por la versión del sensor que mide en un rango óptimo. El software calcula automáticamente la salinidad (PSS-78) a partir de las mediciones de conductividad y temperatura en unidades prácticas de salinidad (psu). La frecuencia de tiempo con que se toman las mediciones puede variar de un segundo a horas, y puede ser preestablecida por el usuario, adecuándose al objeto de estudio. Los registros se guardan en una memoria interna con una referencia reloj en tiempo real del momento en que se tomó la medición. Una particularidad que presentan estos sensores es que son muy pequeños (50 mm x 15 mm), lo cual los hace muy prácticos de transportar; poseen una vida útil que varía de acuerdo con el uso que reciban; y si bien pueden ser recalibrados, la batería no es renovable.

Para la instalación de los sensores se diseñó un dispositivo de amarre tipo “cachimba”, el cual consiste en un tubo sujetado al muelle a través del cual se introduce el sensor en su cápsula amarrado a un cabo (Figura 1c). De esta manera se evita la deriva del sensor por efecto del viento o las corrientes. Asimismo, este dispositivo permite que el sensor fluctúe su nivel con las variaciones del mar, ubicándose siempre cerca de la superficie, de modo que no se observan variaciones significativas en la temperatura o salinidad asociadas a la cota de medición. Además, facilita el acceso a los sensores para descargar la información.

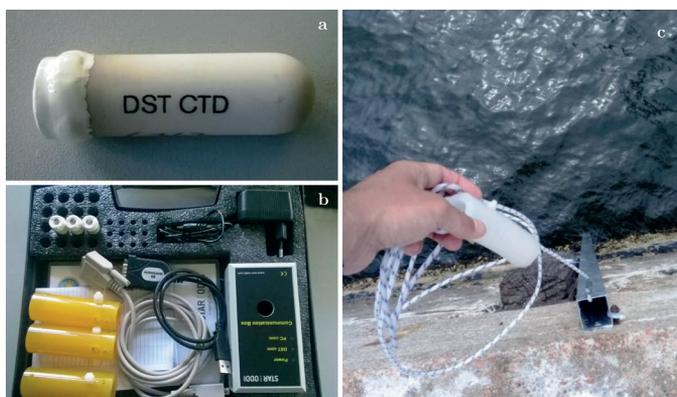


Figura 1. a) Sensor DST-CTD, b) Equipo *data logger* y cápsulas de protección de los sensores, c) Sistema de amarre al muelle tipo “cachimba”.

El equipo está colocado en el muelle de la Isla de Flores, ubicado a 11 km de la costa, frente al límite entre Montevideo y Canelones ($34^{\circ}56'00.7''S$ - $55^{\circ}55'02.8''W$; Figura 2). La isla y un radio de 2 millas náuticas fueron ingresados en 2018 al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), declarándose Parque Nacional Isla de Flores (PNIF) a través del Decreto N° 43/08, del 26 de febrero de 2018 (Uruguay, 2018). El PNIF tiene una superficie total de 5.749 hectáreas (aproximadamente 35 ha corresponden a superficie terrestre) y presenta un faro activo que cuenta con personal a cargo, que hace turnos y cambia cada 15 días. Esta dinámica facilita el acceso frecuente a la isla, por lo que -con el apoyo de la armada- embarcamos en esos viajes para realizar la limpieza y descarga de los datos quincenalmente. El PNIF, por su distancia a la costa y su ubicación en la zona exterior del Río de la Plata, constituye un lugar clave para el monitoreo debido a que se localiza en una zona de máximos gradientes de temperatura y salinidad (Guerrero, et al., 2010). Asimismo, este sitio presenta la ventaja, respecto a otro punto de la costa, de no verse directamente afectado por la vertiente y escorrentía de aportes pluviales de la ciudad que podrían disminuir la salinidad.



Figura 2. Área de estudio: a) Ubicación del Parque Nacional Isla de Flores, b) Vista de imagen satelital tomada de Copernicus Sentinel-2 mission y c) Vista en perspectiva aérea de una parte de la isla. Se indican en letras mayúsculas los sitios donde se colocaron los sensores en distintos puntos del muelle (A, B y C), los colores semáforo indican la preferencia del sitio, siendo el verde el más adecuado.

Los distintos sitios del muelle donde se fueron colocando los sensores variaron en cuanto al desempeño observado en su funcionamiento (Figura 2c). En primera instancia, los sensores se colocaron en el sitio de mayor resguardo del muelle (Figura 2c, sitio A, indicado en rojo, del 29/11/2018 al 12/12/2018), ubicación que fue posteriormente descartada debido a que se registraron períodos en los que el sensor quedaba fuera del agua (por la poca profundidad en la que se encontraba). En una segunda instancia, el sensor se colocó en un sitio también resguardado por el muelle, fijado a un tubo que también quedaba expuesto ante eventos de bajante;

allí estuvo entre el 12/12/2018 y el 28/12/2018 (Figura 2c, sitio B). Finalmente, el 28/12/2018 fue movido a un tercer sitio con mayor exposición a los vientos y condiciones del mar severas (Figura 2c, sitio C), donde permaneció hasta el 27/1/2019, cuando luego de una tormenta se perdió. El 6/2/2019 se colocó un nuevo sensor en el sitio C (Figura 2c), donde registró datos hasta el mediodía del 6/3/2019. Entre el 6/3/2019 y el 3/5/2019, debido a una falla no identificada del sensor, no se obtuvieron mediciones. El 3/5/2019 se retomaron las mediciones en el sitio C, donde permaneció hasta el 30/4/2020. En todos los casos, los sensores fueron programados para tomar mediciones cada 30 minutos y se utilizaron DST-CTDs de diferentes rangos de conductividad (13-63 mS/cm, 3-37 mS/cm, 0.3-5 mS/cm). En la Tabla 1 se indica el rango de conductividad del sensor, el sitio y el tiempo de permanencia en cada sitio.

Tabla 1. Ubicación y característica de los sensores utilizados en distintos sitios del muelle de Isla de Flores.

Rango de conductividad (mS/cm)	Sitio	Período de medición		Comentarios
		Inicio	Fin	
13-63	A	29/11/18	12/12/18	Exposición al aire frecuente. Sedimentos en la celda de conductividad a la semana
13-63	B	12/12/18	28/12/18	Exposición al aire en eventos de muy bajo nivel del mar
3-37 y 13-63		30/4/20	19/5/20	
3-37	C	28/12/18	27/1/19	Periodo sin medición por pérdida del equipo luego de una tormenta
		27/1/19	5/2/19	
3-37		6/2/19	6/3/19	
3-37		6/3/19	3/5/19	El sensor no registró medidas debido a una falla no identificada
3-37		3/5/19	30/4/20	
0.3-5		22/8/19	30/4/20	

Tratamiento y análisis de los datos

En esta sección se detalla el procesamiento de datos realizado para generar la base de datos en paso temporal horario, a partir de un total de 33.368 registros por variable tomados cada media hora, en el período comprendido entre el 29 de noviembre de 2018 y el 30 de abril de 2020. En primer lugar, se eliminaron los datos en los que se detectó que el sensor había quedado expuesto al aire. Esta condición se identificó cuando la conductividad fue <3 mS/cm, siendo este el límite de detección inferior para los sensores de conductividad 3-37 mS/cm. Estos casos representaron 4.371 registros (13,1%) y se concentraron en el primer período, cuando el sensor se ubicó en el sitio A, lo que motivó el cambio de su ubicación al sitio B (Figura 2).

En segundo lugar, se calcularon medias horarias a partir de los datos cada 30 minutos. En varios períodos hubo mediciones duplicadas únicamente para la temperatura, ya que se colocaron dos sensores en el mismo sitio con el fin de tener replicabilidad. En el caso de la salinidad, no se obtuvo réplica de la medición válida porque el segundo sensor era para un rango de conductividad muy bajo (0,3-5 mS/cm), correspondiente a cuerpos de agua dulce. Esta información se descartó debido a que las mediciones no resultaron adecuadas para este tipo de sistema.

Las mediciones *in situ* se compararon con datos satelitales GHRSSST-MUR de 1 km de resolución horizontal y frecuencia diaria (Chin, et al., 2017). Se calculó el promedio diario de temperatura medido en el PNIF, y se realizó un análisis de regresión lineal con cada punto de la grilla de datos satelitales en el Río de la Plata y océano adyacente. Luego se graficó el R^2 ajustado, que representa el porcentaje de varianza explicada por el modelo de regresión lineal. Esto se realizó para el período con datos medidos, sin considerar los datos faltantes, alcanzando un total de 512 datos diarios.

A los efectos de completar la serie de temperatura, en los dos períodos que se descontinuaron las mediciones se consideró un método simple de imputación que usa los datos satelitales GHRSSST-MUR, altamente correlacionados con los datos *in situ*. La metodología consistió en sumar el ciclo diario promedio calculado a partir de las observaciones *in situ* al dato satelital durante los períodos en los cuales no hay datos *in situ*. La salinidad no se pudo completar.

El porcentaje de datos faltantes respecto del tamaño de la serie horaria para el período muestreado fue del 20%, tanto para salinidad como para temperatura. La profundidad podría constituir una variable adecuada para descartar valores atípicos, ya que cuando ésta es cero indicaría exposición al aire. Sin embargo, este indicador no es robusto en aguas someras ya que la precisión del instrumento es de $\pm 0.6\%$ del rango de profundidad en que puede medir el sensor. Es decir, pueden darse situaciones en que el valor esté cercano a cero, pero -de todas maneras- tener un dato válido de conductividad ya que entra en el margen de error del instrumento.

Por último, se generó una clasificación binomial de datos denominados válidos y estimados. Para la salinidad, los estimados son aquellos datos que el sensor midió fuera de los límites de precisión de conductividad, según el fabricante. Estos datos se corresponden con valores bajos de salinidad que, si bien siguen la tendencia de los datos válidos cercanos, deben ser utilizados con cautela en caso de buscar una precisión del orden de 1 psu. Se identificaron así dos períodos: uno con un sensor cuyo límite inferior es cercano a los 7,5 psu y otro cuyo límite es cercano a los 2 psu. Los datos de temperatura medidos fueron todos válidos, ya que el sensor es más robusto, a excepción de los casos en el que se identificó que estaba expuesto al aire. Los datos estimados de temperatura responden principalmente a los completados con los datos satelitales.

RESULTADOS

Base de datos generada

Hasta la fecha, se cuenta con un 80% de cobertura de datos entre el 28 de noviembre de 2018 y el 30 de abril de 2020, con una frecuencia de muestreo de 30 minutos. En la Figura 3 se observa la serie original de datos sin procesar (Figura 3a) y la serie de datos procesada, donde se aprecia el período de datos imputados a partir del registro satelital (Figura 3b). En las Figuras 3c y 3d se grafican las series de temperatura y salinidad, respectivamente, indicando la clasificación de calidad realizada para cada uno de los valores obtenidos de cada variable. En la Tabla 2 se presentan los estadísticos descriptivos de las series completas generadas. La temperatura media fue de 17,15 °C, tomando como referencia un año de datos; y el desvío estándar, de 4,41 °C, variando entre 8,76 y 27,20 °C. La salinidad media fue de 13,02 psu; y el desvío, de 6,07 psu, variando entre 0,009 y 29,33 psu (Tabla 2).

El ciclo diario de la serie completa de TSM se puede ver en la Figura 4, presentando una amplitud pico a pico de 1 °C, siendo el mínimo a las 8 y el máximo a las 17 horas. Primavera tiene la mayor amplitud de ciclo diario de temperatura, con 1,35 °C; luego siguen verano y otoño; mientras que invierno tiene la menor amplitud, con un valor de 0,65 °C, la mitad que durante primavera.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las series completas de temperatura y salinidad en Isla de Flores

	Media	Desvío estándar	Rango
Temperatura (°C)	17,15	4,41	8,76 - 27,20
Salinidad (psu)	13,02	6,07	0,09 - 29,33

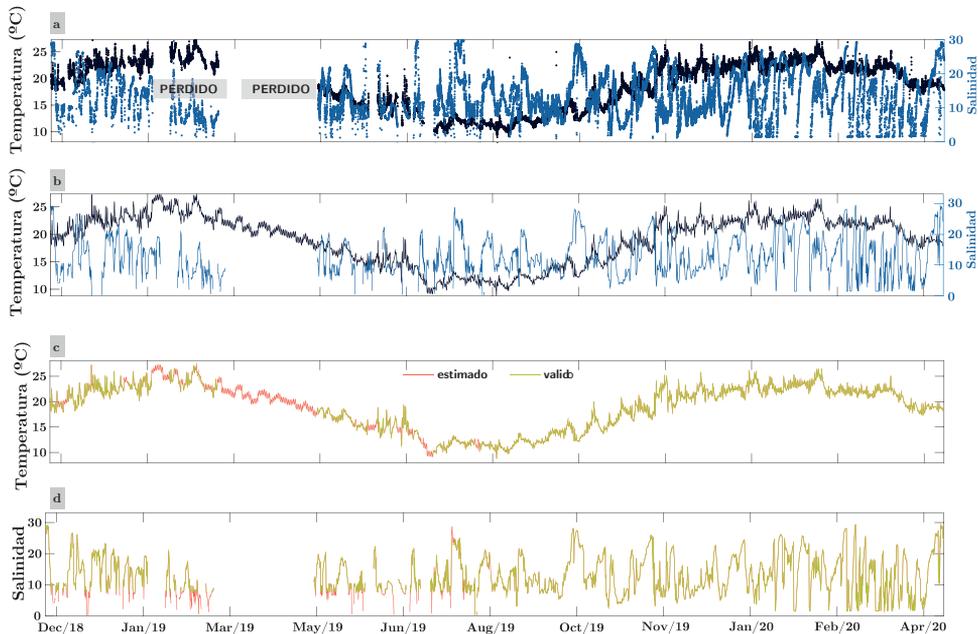


Figura 3. Serie temporal de temperatura y salinidad en Isla de Flores.
 a) Datos sin procesar con frecuencia de 30 min en el cual hay varios fuera de rango y duplicados. b) Datos procesados con frecuencia horaria, donde la temperatura fue completada con mediciones satelitales y el ciclo diario calculado en la Figura 4. En c) y en d) se presentan la temperatura y la salinidad respectivamente, indicando en verde los datos clasificados como datos válidos y en naranja los datos estimados.

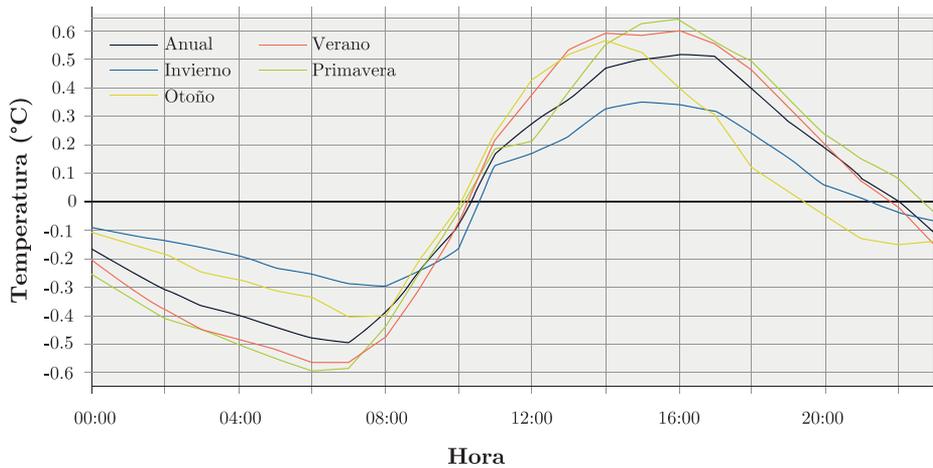


Figura 4. Ciclo diario de anomalía de temperatura superficial del mar en el Parque Nacional Isla de Flores a escala estacional y para todo el año.

Comparación con registro satelital

La serie de datos de temperatura *in situ* generada en paso temporal diario se muestra en la Figura 5, graficada junto a la serie histórica de temperatura obteni-

da a partir de datos satelitales para el punto de grilla más cercano a Isla de Flores. Se aprecia una alta correlación en el ciclo anual y la variabilidad diaria.

La correlación de la temperatura en el PNIF con el campo espacial de temperatura satelital tiene un R^2 de 0.98 en la región cercana a la isla, indicando una alta covariabilidad. Esta gran correlación nos permitió usar la serie satelital para completar la serie *in situ*. Al remover el ciclo estacional calculado a partir del registro histórico satelital, la correlación entre las anomalías diarias de las medidas *in situ* y satelitales tienen $R^2=0.65$. En ambos casos, la correlación es estadísticamente significativa. En la correlación con los datos sin remover el ciclo estacional se puede apreciar cuán representativa es la medida *in situ* dentro del estuario (Figura 6a). La misma caracteriza adecuadamente el ciclo estacional abarcando la costa de Montevideo, Canelones y en menor medida alguna porción de la costa de Maldonado (limitado hasta el balneario Solís), donde la medición representa un 96% de la varianza. Destacan la costa este de Montevideo y la mitad de Canelones hacia el oeste, donde representa el 98% de la varianza. Se destaca también la mayor correlación hacia el este con respecto al oeste, en la gran bahía que se forma entre Punta Carretas y Solís, en Maldonado. En el caso de la correlación con el ciclo estacional removido se visualiza otra estructura espacial (Figura 6b).



Figura 5. Serie temporal de temperatura superficial del mar a partir de mediciones satelitales diarias (azul) en Isla de Flores y promedios diarios de mediciones *in situ* (rojo) en el mismo punto.

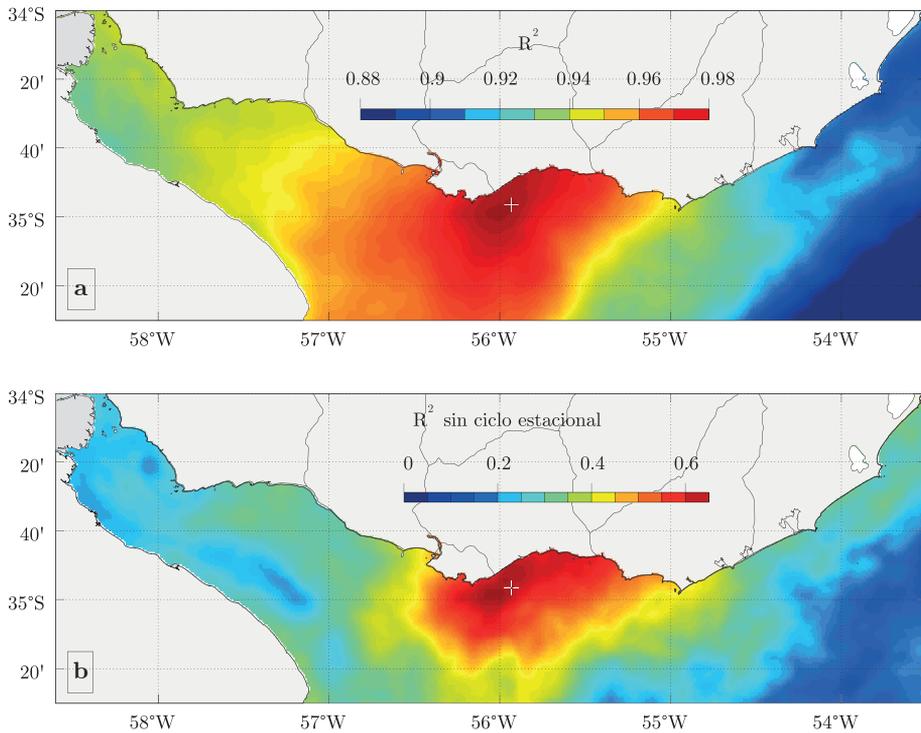


Figura 6. a) Coeficiente de determinación R^2 para el modelo de regresión lineal entre cada punto de grilla de los datos satelitales de temperatura superficial del mar (SST MUR 1 km) y los promedios diarios de temperatura medidos en el Parque Nacional Isla de Flores. La cruz blanca indica la posición de las mediciones *in situ*. b) Idem del anterior, pero removiendo el ciclo estacional en los datos.

DISCUSIÓN

Según el relevamiento bibliográfico realizado, es probable que esta base de datos constituya a nivel nacional uno de los registros más largos de las variables temperatura y salinidad medidos *in situ* de forma continua, en alta frecuencia y validados, para el Río de la Plata. La misma captura adecuadamente la variabilidad estacional y diaria de la TSM. La experiencia mostró que, para obtener un dato de salinidad fiable, es preciso que el mantenimiento de los equipos y la descarga de la información sea al menos cada 15 a 40 días, ya que los sedimentos del río obstruyen la celda de conductividad del sensor, perjudicando las mediciones. El tiempo que demora en comenzar la obstrucción depende de varios factores, como la estación del año, la profundidad a la que se encuentra el sensor o la circulación de agua que tiene. Esto se observa en la serie de datos como una deriva hacia valores y fluctuaciones de conductividad cada vez menores. Cabe mencionar que para obtener la información se requiere acceder al equipo y a la descarga de los datos utilizando equipamiento específico (computadora, un *datalogger* y *software*) y recursos humanos capacitados, lo cual se puede presentar como una dificultad a la hora de acceder a la información con la frecuencia sugerida para mejorar las mediciones de salinidad.

Aportes de la base de datos al monitoreo de procesos oceanográficos costeros

A partir de estas mediciones es posible identificar eventos de interés ambiental, como los eventos extremos de TSM, dentro de los cuales se destacan las olas de calor marinas, que pueden ser más intensas de lo que indica el registro satelital para esta región (Manta, et al., 2018). Otro evento de interés son las surgencias costeras. La surgencia, el afloramiento o el upwelling son términos utilizados para denominar al proceso oceanográfico que consiste en el movimiento de agua desde capas subsuperficiales hacia la superficie, lo cual favorece el aporte de nutrientes, determinando en general zonas altamente productivas de importancia pesquera (Kämpf y Chapman, 2016). Este proceso es consecuencia de la acción combinada de los vientos y la rotación de la Tierra (Tomczak, 1998). Existen varios trabajos que analizan la dinámica y las características de este tipo de eventos en la costa de Uruguay, utilizando distintos tipos de datos (Framiñan, et al., 1999; Pimenta, et al., 2008; Simionato, et al., 2010; Trinchin, et al., 2019); sin embargo, ninguno de ellos cuenta con series continuas medidas *in situ*.

En particular, en la serie que se presenta en la Figura 3b se aprecia el período comprendido entre el 25 de septiembre y el 10 de octubre de 2019, cuando ocurre un descenso pronunciado de temperatura que tiene asociado un aumento de salinidad. Este comportamiento es característico de lo que ocurre en eventos de surgencia, evidenciados en esta región a través de mediciones durante campañas oceanográficas (Pimenta, et al., 2008) y de análisis de modelación numérica (Mecchia, et al., 2013; De Mello, et al., en revisión). En la identificación de este tipo de fenómeno, los sensores satelitales son muchas veces limitantes en cuanto a resolución espacial y no logran captarlos, o los subestiman en intensidad (Meneghesso, et al., 2020), principalmente cuando no son muy intensos o están comenzando a desarrollarse. Por ello, las mediciones *in situ* continuas constituyen una fuente de información de gran utilidad para investigar las surgencias desde su inicio hasta alcanzar su máxima extensión e intensidad.

Los eventos de surgencia son posibles de identificar a partir de las series de datos de temperatura y salinidad generados en este trabajo. Estos se identifican en períodos donde se observa un aumento de la salinidad y una disminución de la temperatura, los cuales se pueden corroborar espacialmente en el registro satelital. A modo de ejemplo, se muestra en la Figura 7 el composite de anomalías de TSM entre los días 29 de septiembre y 1 de octubre de 2019, calculadas con respecto a la media móvil centrada de 30 días, utilizando los datos SST MUR 1 km (GHRSSST, Chin, et al., 2017). Allí se aprecia una región de menor temperatura respecto a las zonas aledañas, que ocurre principalmente desde Canelones hasta Punta del Este, o sea el patrón que caracteriza las surgencias estuarinas (Trinchin, et al., 2019). Cabe destacar la similitud del patrón con la Figura 6c. Esto convierte al PNIF en un punto estratégico para el monitoreo de este tipo de procesos oceanográficos. Por último, las mediciones *in situ* presentan una oportunidad para evaluar el rol que pueden tener la zona acuática del PNIF y la surgencia en la dinámica de especies que habitan la zona, en particular aquellas que son de interés comercial. Este tipo

de datos potencia la generación de información relevante para el diseño de medidas de manejo de los recursos y la conservación de las especies.

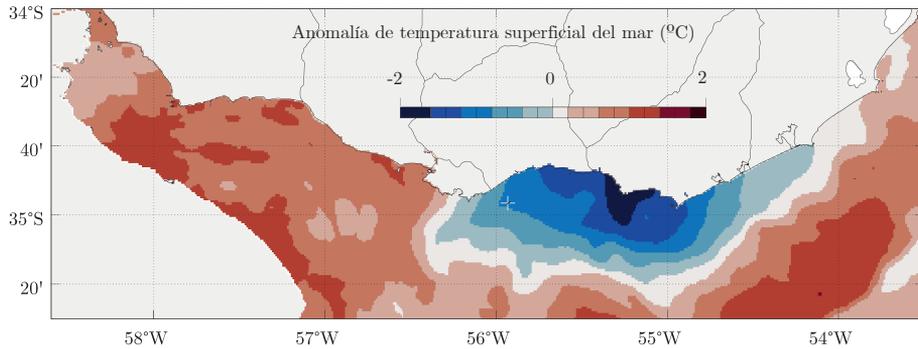


Figura 7. Composite de evento de surgencia estuarina entre el 29 de septiembre y 1 de octubre de 2019, visualizado espacialmente a partir de datos satelitales (SST MUR 1 km).

Este tipo de información generada también es un aporte importante para mejorar la comprensión de fenómenos meteorológicos locales tales como la brisa, popularmente conocida como virazón. La brisa marina es el viento generado por el calentamiento diferencial del agua y la tierra, que tiene consecuencias directas en las condiciones meteorológicas locales y en otros procesos como, por ejemplo, la retención de contaminantes en el aire (Simpson, 1994). Estudios locales de la brisa marina han evidenciado que representa un componente importante de los vientos en la costa. La brisa tiende a ser subestimada por los modelos numéricos atmosféricos, por lo que se necesitan mediciones locales de temperatura del agua y aire para su mejor comprensión (Manta, et al., en prensa).

La serie de datos generada abarca el período en que ocurrió el mayor evento de floración de cianobacterias en la costa uruguayo, que tuvo lugar a fines de enero y principios de febrero de 2019, alcanzando regiones como la costa atlántica de Rocha (Kruk, et al., 2019). Durante este evento se observó una caída en la salinidad y un aumento abrupto en la temperatura, consecuencia de la advección de aguas provenientes del estuario. En este sentido, contar con sensores para realizar mediciones continuas de temperatura y salinidad del agua resultan claves para continuar el estudio de estos eventos y lograr una mejor comprensión.

Aportes de la base de datos a compromisos internacionales y regionales

Este tipo de iniciativa se presenta como un desafío y una oportunidad para promover a nivel nacional otras iniciativas que aporten a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas; en particular al objetivo ODS 14, cobrando particular importancia en 2021-2030, cuando dará inicio la Década Internacional de las Ciencias Oceánicas promovida por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO. Esto busca potenciar internacionalmente las ciencias, con particular énfasis en la construcción de una base de datos científica abierta y accesible sobre

el océano, integrando datos e información fiable procedente de todos los océanos del mundo (Comisión Oceanográfica Intergubernamental, 2017). Esta iniciativa internacional se presenta como un marco para que los Estados Miembros, como lo es Uruguay a través de la Comisión Uruguaya de Oceanografía, coordinen y consoliden las observaciones e investigaciones que se necesitan para lograr el ODS 14.

Por otro lado, Uruguay es miembro de la Alianza Regional en Oceanografía para el Atlántico Sudoccidental Superior y Tropical (marzo 2005, OCEATLAN), liderada a nivel nacional por el Servicio de Hidrografía, Oceanografía y Meteorología de la Armada, y en la cual también participa la Universidad de la República a través de la Facultad de Ciencias. Esta alianza representa el esfuerzo regional de instituciones de Argentina, Brasil y Uruguay, empeñadas en la planificación y la implementación de un sistema oceanográfico operacional con el propósito de monitorear e investigar los procesos oceánicos (OCEATLAN, s.d.). Por medio de esta alianza Uruguay se comunica con el programa *Global Ocean Observing System* (GOOS, s.d.). Este programa de COI es un sistema colaborativo de observaciones oceánicas que se sustenta en una gran red internacional que integra observaciones *in situ*, satelitales, a los gobiernos, agencias de ONU y científicos de todo el mundo. En particular, las observaciones en red y la gestión de datos son coordinadas por la Comisión Técnica Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marina, conformada por la COI y la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Esta alianza se ha conformado recientemente para aumentar la generación de mediciones en el océano con el fin de fortalecer el conocimiento del sistema climático (Pinaridi, et al., 2019). En este contexto, iniciativas consolidadas que cuenten con apoyo gubernamental, como la descrita en este trabajo, además de ser un gran aporte para las ciencias oceánicas y ambientales a nivel nacional y regional, también constituirán un gran insumo para nutrir los programas y acuerdos internacionales a los que Uruguay ha adherido.

CONCLUSIONES

Los resultados aquí presentados surgen del trabajo colaborativo y coordinado entre la academia e instituciones del Estado para lograr un monitoreo continuo de variables oceanográficas en la costa de Uruguay. Se logró generar una serie temporal de salinidad sin precedentes que será de utilidad para ampliar la comprensión y el conocimiento de la dinámica de procesos oceanográficos en el Río de la Plata, los cuales aportarán a establecer medidas de gestión para la conservación de la fauna en un área marina protegida del SNAP, el Parque Nacional Isla de Flores. En cuanto a la temperatura, se logró evidenciar su alta correlación con un producto satelital particular, y se caracterizó el ciclo diario de temperatura. Combinando los datos *in situ* con los satelitales, es posible reconstruir una serie temporal horaria con un alto grado de confianza.

Los equipos utilizados, de bajo costo y fácil utilización, permitieron obtener mediciones muy confiables de temperatura; mientras que en el caso de la salinidad se obtuvo una serie de datos un poco menos confiable, pero de un importante valor. Los equipos de medición oceánicos suelen ser equipos de alto costo y requieren mantenimiento. Los equipos aquí utilizados son alternativas relativamente económicas que contemplan una adecuada relación calidad/precio. Proyectando

la continuidad del monitoreo a largo plazo, una alternativa es considerar la posibilidad de adquirir equipos más completos que puedan transmitir la información remotamente, de modo de poder incorporar un monitoreo en tiempo real por medio del cual se pueda acceder a la información a través de un sitio web. Asimismo, considerar la posibilidad de implementar un sistema en el que se puedan incorporar sucesivamente nuevos sensores que registren distintas variables físicas y biogeoquímicas, de modo de generar un monitoreo de diferentes variables ambientales que permitan alcanzar un monitoreo oceanográfico integral. En este sentido, a modo de consolidación de una estación de monitoreo permanente de las condiciones físico-químicas y biológicas en el Río de la Plata, el PNIF, además de constituir un sitio clave por su ubicación, también facilita la logística de amarre y el acceso de equipos. Además de las instituciones involucradas, se identifican al sector productivo pesquero, a la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, a la Universidad de la República y al Servicio de Hidrografía, Oceanografía y Meteorología de la Armada como actores relevantes que se beneficiarían de la continuidad y profundización de esta iniciativa.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio de Balizamiento de la Armada y a los fareros, por el apoyo logístico. A la Administración Nacional de Puertos (Ing. Fabián Barbato) por la disponibilidad de la información de altura del nivel del mar y vientos, generada por sus equipos instalados en el PNIF. Agradecemos especialmente a Irene Machado y Daniel Conde por el préstamo de sensores y equipo de descarga, y a Ernesto Brugnoli y Pablo Muniz (Sección de Oceanografía y Ecología Marina de la Facultad de Ciencias-UdelaR) por el préstamo del YSI castaway CTD para contrastar mediciones *in situ* en algunas de las obtenciones de datos. A Santiago de Mello por su invaluable ayuda en la instalación del sistema cachimba.

REFERENCIAS

- Acha, E.M., Mianzan, H., Guerrero, R.J.C., Giberto D., Montoya N. y Carignan M., 2008. An overview of physical and ecological processes in the Rio de la Plata Estuary. En: *Continental Shelf Research*, 28(13), pp.1579–1588. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.01.031>
- Bao, S., Wang, H., Zhang, R., Yan, H. y Chen, J., 2019. Comparison of satellite-derived sea surface salinity products from SMOS, Aquarius, and SMAP. En: *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(3), pp.1932-1944. <https://doi.org/10.1029/2019JC014937>
- Chin, T. M., Vazquez-Cuervo, J. y Armstrong, E.M., 2017. A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. En: *Remote Sensing of Environment*, 200, pp.154-169. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.029>

Comisión Oceanográfica Intergubernamental, 2017. *El océano que necesitamos para el futuro que queremos: propuesta para una Década Internacional dedicada a las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible (2021-2030)* [En línea]. [s.l.]: UNESCO. [Consulta: 10 de junio de 2020]. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247898_spa

De Mello, C., Barreiro, M., Ortega, L., Trinchin, R. y Manta, G. en prensa. Numerical study of upwelling along the Uruguayan coast: the role of wind forcing and bottom topography in upwelling mechanism En: *Regional Studies in Marine Science*.

Echevarría, L., Gómez, A., Gómez Erache, M. y Tejera, R., 2016. *La planificación espacial marina como herramienta de gestión*. Montevideo: Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la República. (Interdisciplinarias 2015).

Framiñan, M.B., Etala, M.P., Acha, E.M., Guerrero, R.A., Lasta, C.A. y Brown, O.B., 1999. Physical characteristics and processes of the Río de la Plata estuary. En: Perillo, Gerardo M.E., Piccolo, María Cintia y Pino-Quivira, Mario, eds. *Estuaries of South America*. Berlín: Springer. pp.161-194. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60131-6_8

Fossati, M., Santoro, P., Mosquera, R., Martínez, C., Ghiardo, F., Ezzattib, P. y Piedra-Cueva, I., 2014. Dinámica de flujo, del campo salino y de los sedimentos finos en el Río de la Plata. En: *Ribagua*, 1(1), pp.48-63. [https://doi.org/10.1016/S2386-3781\(15\)30007-4](https://doi.org/10.1016/S2386-3781(15)30007-4)

GOOS, s.d. *Global Ocean Observing System* [En línea]. Paris: UNESCO. [Consulta: 30 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.goosocean.org/>

Guerrero, R.A., Acha, E.M., Framin, M.B. y Lasta, C.A., 1997. Physical oceanography of the Río de la Plata Estuary, Argentina. En: *Continental Shelf Research*, 17(7), pp.727-742. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(96\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(96)00061-1)

Guerrero, R.A. y Piola, A.R., 1997. Masas de agua en la plataforma continental. En: Boschi, E.E., ed. *El mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 1. Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales* [En línea]. Mar del Plata: INIDEP. pp.107-118. [Consulta: 25 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.inidep.edu.ar/wordpress/?page_id=846

Guerrero, R.A., Piola, A.R., Molinari, G.N., Osiroff A.P. y Jáuregui, S.I., 2010. *Climatología de temperatura y salinidad en el Río de la Plata y su frente marítimo Argentina-Uruguay*. Mar del Plata: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). 95 p. ISBN 978-987-1443-03-1

- Jaureguizar, A.J., Menni, R., Bremec, C., Mianzan, H. y Lasta, C., 2003. Fish assemblage and environmental patterns in the Rio de la Plata estuary. En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(5-6), pp.921-933.
[https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00288-3](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00288-3)
- Kämpf, J. y Chapman, P., 2016. *Upwelling systems of the world*. Berna: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-42524-5>
- Kruk, C., Martínez, A., de la Escalera, G. M., Trinchin, R., Manta, G., Segura, Á. M. y Gabito, L., 2019. Floración excepcional de cianobacterias tóxicas en la costa de Uruguay, verano 2019. En: *INNOTECH*, (18), pp.36-68.
<https://doi.org/10.26461/18.06>
- Lercari, D. y Defeo, O., 2006. Large-scale diversity and abundance trends in sandy beach macrofauna along full gradients of salinity and morphodynamics. En: *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 68, pp.27-35. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.12.017>
- Manta, G., de Mello, S., Trinchin, R., Badagian, J. y Barreiro, M., 2018. The 2017 record marine heatwave in the Southwestern Atlantic Shelf. En: *Geophysical Research Letters*, 45(22), pp.12,449-12,456. <https://doi.org/10.1029/2018GL081070>
- Manta, G., Barreiro, M. y Renom, M., en prensa. Climatología de la brisa marina en Uruguay. En: *Meteorológica*.
- Martínez, A., Méndez, S., Fabre, A. y Ortega, L., 2017. Intensificación de floraciones de dinoflagelados marinos en Uruguay. En: *INNOTECH*, (13), pp.19-25.
<https://doi.org/10.26461/13.02>
- Meccia, V.L., Simionato, C.G. y Guerrero, R.A., 2013. The Rio de la Plata estuary response to wind variability in synoptic timescale: salinity fields and salt wedge structure. En: *Journal of Coastal Research*, 29(1), pp.61-77.
<https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00063.1>
- Meneghesso, C., Seabra, R., Broitman, B.R., Wethey, D.S., Burrows, M.T., Chan, B.K. y Sousa, L.L., 2020. Remotely-sensed L4 SST underestimates the thermal fingerprint of coastal upwelling. En: *Remote Sensing of Environment*, 237, 111588. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111588>
- Merchant, C.J., Minnett, P.J., Beggs, H., Corlett, G.K., Gentemann, C., Harris, A.R. y Maturi, E., 2019. Global sea surface temperature. En: Hulley, Glynn C. y Ghent, Darren, eds. *Taking the temperature of the earth*. Amsterdam: Elsevier. pp.5-55. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01600-2>
- OCEATLAN, s.d. *Alianza Regional en Oceanografía para el Atlántico Sudoccidental Superior y Tropical (OCEATLAN)* [En línea]. [s.l.]: [s.n.]. [Consulta: 10 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.oceatlan.org/>

- Ortega, L. y Martínez, A., 2007. Multiannual and seasonal variability of water masses and fronts over the Uruguayan shelf. En: *Journal of Coastal Research*, (233), pp.618-629. <https://doi.org/10.2112/04-0221.1>
- Paesch, L., Norbis, W. y Inchausti, P., 2014. Effects of fishing and climate variability on spatio-temporal dynamics of demersal chondrichthyans in the Río de la Plata, SW Atlantic. En: *Marine Ecology Progress Series*, 508, pp.187-200. <https://doi.org/10.3354/meps10878>
- Pimenta, F., Garvine, R.W. y Münchow, A., 2008. Observations of coastal upwelling off Uruguay downshelf of the Plata estuary, South America. En: *Journal of Marine Research*, 66(6), pp.835-872.
- Pinardi, N., Stander, J., Legler, D. M., O'Brien, K., Boyer, T., Cuff, T. y Burger, E., 2019. The Joint IOC (of UNESCO) and WMO collaborative effort for met-ocean services. En: *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00410>
- Piola, A.R., Matano, R.P., Palma, E.D., Möller, O.O. y Campos, E.J., 2005. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. En: *Geophysical Research Letters*, 32(1). <https://doi.org/10.1029/2004GL021638>
- Santoro, P.E., Fossati, M. y Piedra-Cueva, I., 2013. Study of the meteorological tide in the Río de la Plata. En: *Continental Shelf Research*, 60, pp.51-63. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.018>
- SiMCosta, [s.d]. Portal SiMCosta [En línea]. [s.l.]: Portal SiMCosta. [Consulta: 30 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://simcosta.furg.br/home>
- Simionato, C.G., Dragani, W., Meccia, V. y Nuñez, M., 2004. A numerical study of the barotropic circulation of the Río de la Plata estuary: sensitivity to bathymetry, the Earth's rotation and low frequency wind variability. En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(2), pp.261-273. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.05.005>
- Simionato, C.G., Berasategui, A., Meccia, V.L., Acha, M. y Mianzan, H., 2008. Short time-scale wind forced variability in the Río de la Plata Estuary and its role on ichthyoplankton retention. En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(2), pp.211-226. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.07.03>
- Simionato, C.G., Tejedor, M.L.C., Campetella, C., Guerrero, R. y Moreira, D., 2010. Patterns of sea surface temperature variability on seasonal to sub-annual scales at and offshore the Río de la Plata estuary. En: *Continental Shelf Research*, 30(19), pp.1983-1997. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.012>

- Simionato, C.G., Moreira, D., Piedra-Cueva, I., Fossati, M., Guerrero, R., De Los Campos, T. y Repecaud, M., 2011. Proyecto FREPLATA-FFEM modelado numérico y mediciones in situ y remotas de las transferencias de sedimentos finos a través del Río de la Plata Parte A: Adquisición de datos. En: *Frente Marítimo*, 22, pp.109-136.
- Soreide, N.N., Woody, C.E. y Holt, S.M., 2001. Overview of ocean based buoys and drifters: present applications and future needs. En: *MTS/IEEE Oceans 2001. An Ocean Odyssey. Conference Proceedings (IEEE Cat. No.01CH37295)*. Vol. 4. Nueva York: IEEE. pp.2470-2472. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2001.968388>
- Simpson, J.E., 1994. *Sea breeze and local winds*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tomczak, M., 1998. *Shelf and coastal oceanography* [En línea]. Version 1.0. Adelaida: Flinders University of South Australia. [Consulta: 25 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.mt-oceanography.info/ShelfCoast/>
- Trinchin, R., Ortega, L. y Barreiro, M., 2019. Spatiotemporal characterization of summer coastal upwelling events in Uruguay, South America. En: *Regional Studies in Marine Science*, 31, 100787. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100787>
- Uruguay. Administración Nacional de Puertos, s.d. *Mareógrafo* [En línea]. Montevideo: ANP. [Consulta: 8 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://mareografo.anp.com.uy/>
- Uruguay. Decreto 43/018, de 26 de febrero de 2018. Diario Oficial, 06 de marzo de 2018, No. 29.900, p. 15.