



Anexo “12”

Proyecto “Análisis de la variación del nivel del mar en la Antártida y la costa suramericana en el Pacífico a partir de datos de altimetría y datos in situ.”

1. Relación con la Agenda Científica Antártica de Colombia 2014-2035

Este proyecto se enmarca en el área temática “Cambio climático y evolución del clima”, línea de investigación “Clima, criósfera, atmósfera y litósfera” y sub-línea “Cambios en el nivel del mar”, de conformidad con lo establecido en la Agenda Científica Antártica de Colombia.

2. Investigadores y entidades participantes en esta fase del proyecto:

Investigador principal: CN Rafael Ricardo Torres Parra

Entidad que representa: ENAP / DIMAR

Actividades desarrolladas en la Antártida a bordo del ARC 20 de Julio.

Co-investigador: PD8 Ana Lucía Caicedo Laurido

Entidad que representa: ENAP / DIMAR

Actividades desarrolladas en la Antártida a bordo del ARC 20 de Julio.

Co-investigador: OD18 José Luis Payares Varela

Entidad que representa: ENAP

Actividades desarrolladas en la Antártida a bordo del ARC 20 de Julio.

3. Otras entidades participantes

La Armada Nacional de Colombia con el apoyo del ARC 20 de Julio.

4. Objetivo general del proyecto

Estudiar el comportamiento del nivel del mar en el Pacífico sudeste y la Antártida, incluyendo la marea, cambios estacionales y la tendencia, con el fin de encontrar conexiones en las variaciones.

5. Objetivo(s) particular(es) para la fase del proyecto desarrollada en el verano austral 2015-2016.



- 5.1. Tomar más de 15 días de datos de nivel del mar en el estrecho de Gerlache.
- 5.2. Evaluar el comportamiento de la marea en el estrecho de Gerlache y compararlo con modelos de mareas que cubran esta área.
- 5.3. Conseguir y analizar datos de nivel del mar medidos in situ en la Antártida y la costa suramericana en el Pacífico con países amigos.
- 5.4. Procesar información de mareógrafos de fuentes abiertas para evaluar el comportamiento del nivel del mar en la Antártida y la costa suramericana en el Pacífico.
- 5.5. Procesar información de altimetría satelital para evaluar el comportamiento del nivel del mar en la Antártida y la costa suramericana en el Pacífico.

6. Base o buque donde desarrollaron los objetivos particulares

Buque ARC 20 de Julio de la Armada de Colombia. El buque zarpó de Cartagena el 16 de diciembre de 2016, regresando al mismo puerto el 1 de marzo de 2017. El itinerario y ruta del buque de acuerdo con la Tabla 3 del informe final “Crucero Expedición de Colombia a la Antártida 2016-2017”.

7. Descripción de equipo científico y de apoyo

Para el registro de datos de nivel del mar se emplearon dos *RBR duo*, instalados en Puerto Mikkelsen y la bahía Cierva Cove (H01 y H02 de la Figura 1 del informe final “Crucero Expedición de Colombia a la Antártida 2016-2017”), necesarios para la corrección de mareas del levantamiento hidrográfico realizado por DIMAR. La configuración de los equipos se realizó para tomar un dato de nivel del mar cada 60 segundos. Los equipos también tomaron información de temperatura del mar.

Así mismo, con los equipos DWR se realizaron mediciones de nivel del mar en cercanías a las bases antárticas Gabriel González Videla y Yelcho (M01 y M02 en la Figura 1 y Tabla 6 del informe final “Crucero Expedición de Colombia a la Antártida 2016-2017”). La configuración de los equipos se realizó para hacer mediciones en intervalos de 15 minutos.

El fondeo de los equipos se efectuó a bordo del bote *Defender* y *Zodiac* del buque ARC 20 de Julio con apoyo del personal de buzos en caso de ser requeridos.

8. Descripción de las principales actividades de investigación desarrolladas.

En la Tabla 1 se muestra información relacionada con las series de tiempo registradas en el campo con los RBR y DWR. La deriva de hielo en el área del instrumento ubicado en Cierva Cove provocó daños el equipo de medición fondeado, impidiendo la recuperación de la información.



Tabla 1. Información del fondeo de los mareógrafos *RBR duo* y *DWR* en el estrecho de Gerlache.

Equipo	Base cercana	Posición Geográfica		Profundidad	Tiempo de registro (Hora UTC)		No. datos
		Lat.	Long.		Inicio	Fin	
RBR	Puerto Mikkelsen	63.90° S	60.79° W	16 m	17/01/2017 14:09Z	18/01/2017 23:55Z	2034
RBR	Cierva Cove	64.15° S	60.96° W	8 m	19/01/2017 11:30Q	24/01/2017 18:00Q	0
DWR	Videla	64.82° S	62.87° W	10 m	14/01/2017 12:35Q	22/01/2017 08:50Q	754
DWR	Yelcho	64.87° S	63.57° W	10.5 m	15/01/2017 10:10Q	22/01/2017 16:40Q	651

Con estos datos se efectuó un análisis preliminar de la marea. Sin embargo, al ser series de tiempo muy cortas se decidió compararlas con información de varios modelos de mareas que cubren el área. Se seleccionó el modelo “AntPen_tide” teniendo en cuenta la revisión literaria, así como los buenos resultados obtenidos de la comparación con los datos medidos.

Durante el tránsito del buque en el seminario realizado en Valparaíso se lograron hacer coordinaciones con el investigador Manuel Contreras-López de la Universidad de Playa Ancha – Chile, de quien se recibieron 22 series de tiempo de la costa de Sur América en el Océano Pacífico iniciando desde Buenaventura hasta Puerto Williams. Así mismo se recibió la serie de tiempo de la base Prat de Chile por parte del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada – SHOA de Chile.

Se descargaron y revisaron para control de calidad 15 estaciones mareográficas de la costa de Sur América en el Océano Pacífico y la Antártida disponibles en Centro de Nivel del Mar de la Universidad de Hawaii (UHSLC). Así mismo se tuvo acceso a la serie de tiempo del 2011 al 2017 de la estación mareográfica de Palmer, tras la visita a esta base de los Estados Unidos de América.

Se descargaron los archivos de Topografía Dinámica Absoluta de la ftp de AVISO, entre 1993 y el 2015, para el Pacífico Sudeste y la Península Antártida, a partir de los cuales se realizaron análisis de las variaciones de largo plazo y estacionales de esta variable.

9. Resultados preliminares



Las series de tiempo de mareógrafos (Tabla 1) fueron procesadas promediando datos horarios de nivel del mar y realizando un control de calidad mediante la inspección de los datos. Se calcularon los armónicos con la limitación dada lo corto de las series de tiempo y se generaron pronósticos de nivel del mar. Debido a lo corto de estas series se revisaron la disponibilidad de modelos de marea en el área, seleccionando el modelo AtnPen, el cual tiene disponibles los principales constituyentes de marea para toda la Península Antártica (http://www.esr.org/polar_tide_models/Model_AntPen0401.html). De este modelo se tomaron los constituyentes más cercanos a cada uno de los lugares donde se instalaron los instrumentos de medición, y se generaron los pronósticos para las mismas fechas en que se tomaron los datos.

En los lugares donde se contaba con predicción de datos en tablas de marea, adicionalmente se tomaron los pronósticos diarios de mínimos y máximos de nivel del mar y se interpolaron datos horarios, con base a los cuales se calcularon los armónicos y se hizo una predicción de la marea. Con esta información se hizo la comparación de las mediciones y pronósticos del nivel del mar en los cuatro lugares mencionados, como se indica en la Figura 1 para Puerto Mikkelsen.

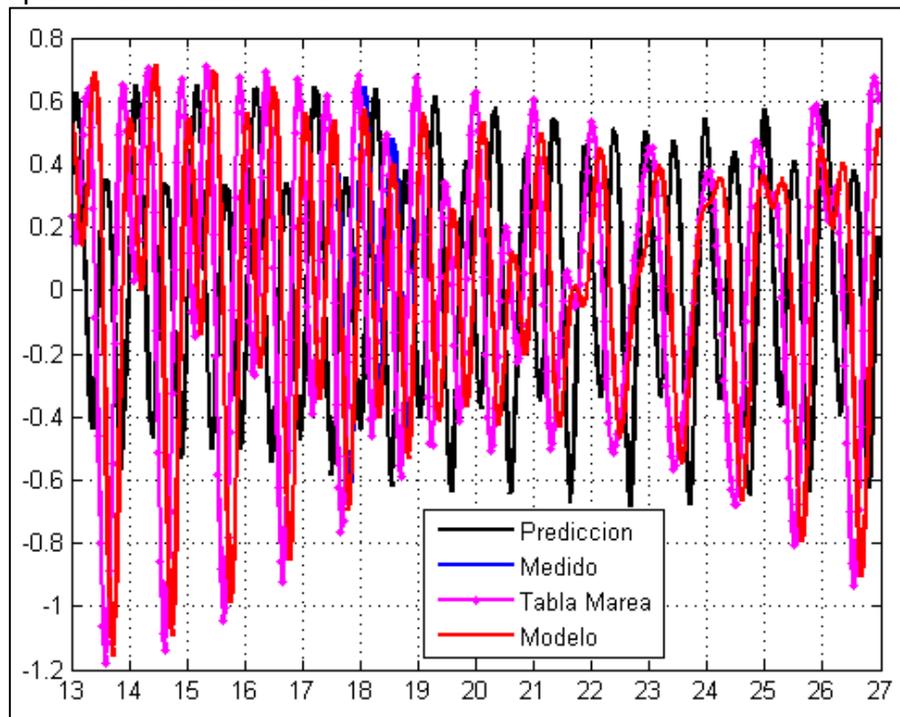


Figura 1. Comparación de mediciones y pronósticos de marea en Puerto Mikkelsen para enero de 2017. En negro la predicción con base a los armónicos calculados de la serie de tiempo medida; en azul la serie de tiempo medida; en magenta la predicción con base



a los armónicos calculados de la tabla de mareas; en rojo la predicción con base a los armónicos obtenidos del nodo más cercano del modelo AntPen.

En Puerto Mikkelsen los principales armónicos fueron M2 y K1 con amplitudes de 0.5 m y 0.15m. En todos los lugares analizados, los mejores resultados fueron los de los pronósticos de marea con base a los armónicos del modelo AntPen, por lo cual esta serie de tiempo fue la utilizada para la corrección por mareas en los levantamientos hidrográficos de aguas someras realizados durante la expedición.

La serie de tiempo de Topografía Dinámica Absoluta - ADT (1993 al 2015) fue procesada para el Pacífico Sudeste con el fin de establecer el campo promedio, tendencia y variaciones anuales y semi-anuales. Los resultados se muestran en la [Figura 2](#) y [Figura 3](#). En la [Figura 2](#) el gradiente del campo medio indica las corrientes permanentes como la Corriente del Perú y la Corriente Circumpolar Antártica; llama la atención el fuerte ciclo anual de la ADT en las costas colombianas en el Pacífico y como este ciclo es estadísticamente insignificativo en el Pasaje de Drake.

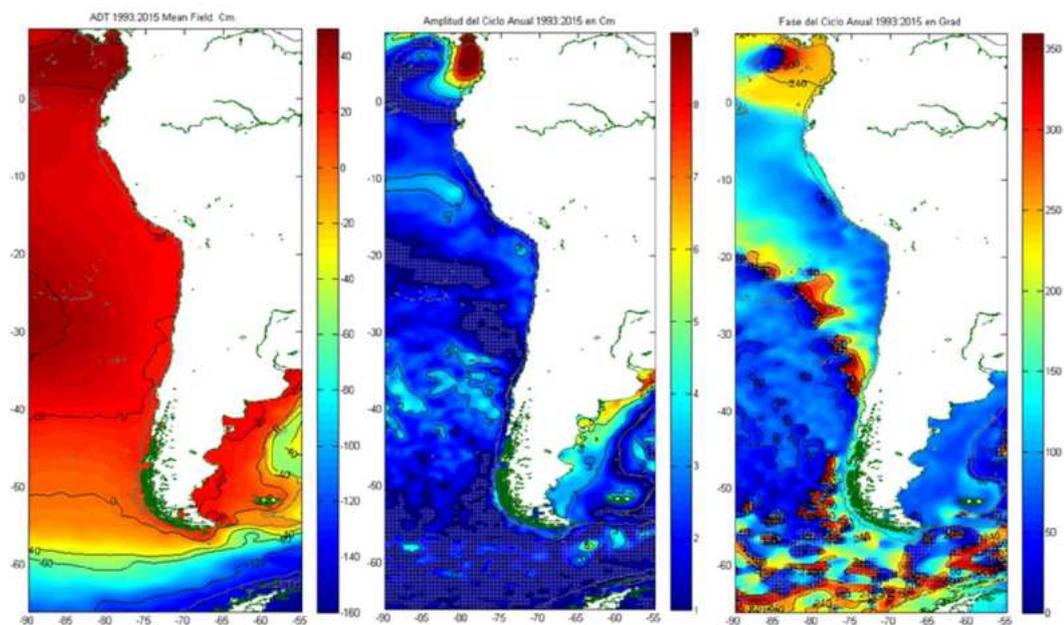


Figura 2. Resultados del procesamiento de series de Topografía Dinámica Absoluta entre 1993 y 2015. Izquierda, campo medio (cm); centro, amplitud del ciclo anual (cm); derecha, fase del ciclo anual medida en grados a partir del primero de enero. Las áreas en gris indican donde el ciclo anual no es estadísticamente significativo.

En la [Figura 3](#) la tendencia muestra un aumento del nivel del mar de más de 3 mm/año en las costas colombianas en el Pacífico, un aumento de más de 2 mm/año en la península Antártica y menor a este valor en la costa peruana y en



el norte de Chile. En el ciclo semi-anual se observa una mayor amplitud (más de 6 cm) en las costas colombianas en el Océano Pacífico en tanto que es estadísticamente insignificante en la mayoría de la cuenca; en la fase se observa procesos que influyen este ciclo con tiempos diferentes en las costas suramericanas.

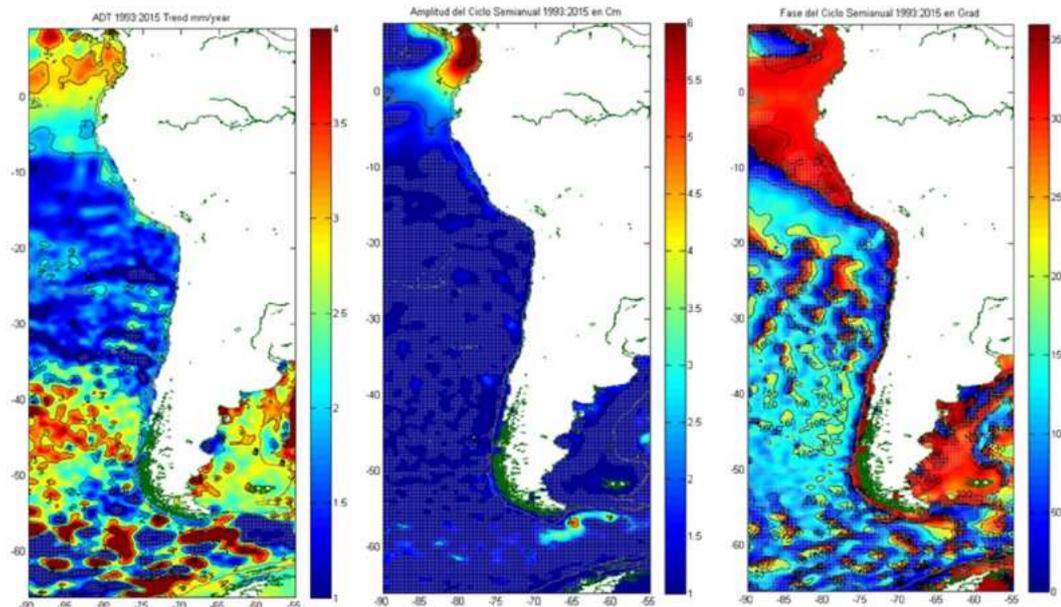


Figura 3. Resultados del procesamiento de series de Topografía Dinámica Absoluta entre 1993 y 2015. Izquierda, tendencia en milímetros por año; centro, amplitud del ciclo semi-anual; derecha, fase del ciclo semi-anual medida en grados a partir del primero de enero. Las áreas en gris donde el ciclo anual no es estadísticamente significativo.

10. Resultados Esperados

Los datos medidos y procesados in-situ en el nivel del mar serán usados en la elaboración de las hojas finales de los levantamientos hidrográficos realizados por DIMAR en marco de la III Expedición de Colombia a la Antártida.

Con otros grupos de investigación de Suramérica se espera publicar un capítulo en un libro denominado “Tendencias del Nivel Medio del Mar en el litoral del Pacífico Sur Oriental”, en un horizonte de tiempo de 6 meses.

Parcialmente los datos del nivel del mar en la Antártida serán revisados como parte de un trabajo de tesis de la Maestría en Oceanografía de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”, en la cual se estudian las variaciones interanuales de las masas de agua formadas en la Antártida.



En la medida que el proyecto consiga financiación económica, o con la vinculación de posibles tesis, se podría realizar en análisis de las series de tiempo de mareógrafos y de Topografía Dinámica Absoluta para comprender mejor las variaciones del nivel del mar a diferentes escalas en la costa suramericana en el Océano Pacífico y en la Península Antártida.

11. Actividades de divulgación

Teniendo en cuenta que el proyecto se desarrolló como parte del crucero a bordo del ARC 20 de Julio, las actividades de divulgación corresponden a las indicadas en el punto 4 del “Informe III Expedición de Colombia a la Antártida “Almirante Padilla””.

12. Recomendaciones

La programación de actividades de investigación durante el crucero depende de las condiciones océano-atmosféricas presentes, por lo cual se debe tener flexibilidad al cambio. Adicional a los cambios por esta causa, la programación de actividades de investigación también se vio afectada por la posible visita de autoridades a la Península Antártida, por lo cual se recomienda que a futuro y desde el mismo comienzo de la expedición se defina si se realizará una visita de autoridades y estableciendo una corta ventana de tiempo en la cual esta se haría. Estos cambios pueden afectar la toma de series de tiempo más largas en el área de estudio.

13. Bibliografía

Feng X, M Tsimplis, M Marcos, F Calafat, J Zheng, G Jordà & P Cipollini. 2015. Spatial and temporal variations of the seasonal sea level cycle in the northwest Pacific. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 120(10): 7091-7112, <10.1002/2015jc011154>

Oreiro F, E D'Onofrio, W Grismeyer, M Fiore & M Saraceno. 2014. Comparison of tide model outputs for the northern region of the Antarctic Peninsula using satellite altimeters and tide gauge data. *Polar Science*, Volume 8, Issue 1, 10-23, <doi.org/10.1016/j.polar.2013.12.001>

Pattullo J, W Munk, R Revelle & E Strong. 1955. The seasonal oscillation in sea level. *Journal of Marine Research* 14(1): 88-155.

SHN, 2016. Tablas de Marea para la Antártida Octubre 2016 - Diciembre 2017. Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa, Buenos Aires, Argentina.



Torres R. 2014. Sea-level change in the Caribbean Sea over the last century. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Universidad de Southampton, Southampton, 216 pp.

Tsimplis M & P Woodworth. 1994. The global distribution of the seasonal sea level cycle calculated from coastal tide gauge data. Journal of Geophysical Research 99(C8): 16031-16039, <10.1029/94jc01115>

Este informe fue elaborado por:

CN Rafael Ricardo Torres Parra
Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe – DIMAR
Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”



Apéndice “1” – Registro Fotográfico



Fotografía 1. Instrumento para la medición de nivel del mar instalado en Puerto Mikkelsen.



Fotografía 2. Instalación de instrumentos con apoyo de buzos en cercanía de la base Yelcho.



Fotografía 3. Investigadores del proyecto.