



# Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales

---

## INGENIERIA CIVIL OCEÁNICA

**ESTIMACIÓN DE TASAS DE CAMBIO DE NIVEL DEL  
MAR A LO LARGO DE LA COSTA DE CHILE  
UTILIZANDO REGISTROS HORARIOS DE  
MAREÓGRAFOS ENTRE LOS AÑOS 1944 Y 2008**

**DOC ICO 13-2010**

Trabajo Presentado en el XXX Congreso de Ciencias del Mar,  
Campus San Andrés, Universidad Católica de la Santísima  
Concepción, 19 – 21 de Octubre de 2010, Concepción, Chile.  
Libro de Resúmenes, Página 79.

Trabajo Presentado en el XXX Congreso de Ciencias del Mar, Campus San Andrés,  
Universidad Católica de la Santísima Concepción, 19 - 21 de Octubre de 2010,  
Concepción, Chile. Libro de Resúmenes, Página 79.

---

Estimación de tasas de cambio de nivel del mar a lo largo de la costa de  
Chile utilizando registros horarios de mareógrafos entre los años  
1944 y 2008.

Manuel Contreras López<sup>(1, 2, 3)</sup> y Patricio Winckler Grez<sup>(2)</sup>

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad de Playa Ancha (e-mail: [manuel.contreras@uv.cl](mailto:manuel.contreras@uv.cl))

(2) Grupo de Ingeniería Civil Oceánica, UV ([patricio.winckler@uv.cl](mailto:patricio.winckler@uv.cl))

(3) Programa Magíster en Oceanografía, PUCV

# Estimación de tasas de cambio de nivel del mar a lo largo de la costa de Chile utilizando registros horarios de mareógrafos entre los años 1944 y 2008.

Contreras M<sup>(1, 2, 3)</sup> y Winckler P<sup>(2)</sup>

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad de Playa Ancha (e-mail: [manuel.contreras@uv.cl](mailto:manuel.contreras@uv.cl))

(2) Grupo de Ingeniería Civil Oceánica, UV ([patricio.winckler@uv.cl](mailto:patricio.winckler@uv.cl))

(3) Programa Magíster en Oceanografía, PUCV

**Palabras Claves:** Cambio Climático, Series de Tiempo, Zona Costera.

## Resumen

Con el propósito de pronosticar los efectos del cambio climático en las costas del mundo, se cuenta con varias iniciativas orientadas a analizar las consecuencias del posible aumento del nivel medio del mar, NMM. Sin embargo estos análisis se encuentran disponibles principalmente para el hemisferio norte. Por esta razón se seleccionaron los siete registros de nivel del mar de más larga data (más de 40 años) que mantiene el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, SHOA, en los puertos principales de la costa del país. Se aplicaron técnicas de series de tiempo para aislar los cambios experimentados en el NMM y estimar las tasas de cambio anuales. Los resultados muestran un descenso del NMM al norte del trópico de capricornio (Arica, Antofagasta) y un aumento en los demás sectores (Caldera, Isla de Pascua, Valparaíso, Talcahuano y Puerto Williams). La razón por que el NMM estaría descendiendo en el norte del país, parece encontrarse en una explicación isostática, debido a la confluencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, que estarían provocando un ascenso de la tierra y por consiguiente de las referencias con respecto a las cuales se registra el nivel del mar. Isla de Pascua es la estación de registro con mayores tasas de incremento del NMM. Destaca también el caso de Puerto Williams, donde durante el siglo XX el NMM estaba descendiendo, para pasar a una situación actual donde el NMM se encuentra en una importante fase de aumento.

## Introducción

Con el propósito de pronosticar los efectos del cambio climático en las costas del mundo, se cuenta con varias iniciativas orientadas a analizar las consecuencias del posible aumento del nivel medio del mar, NMM (Pugh 2005). De esta forma, se puede considerar como hipótesis de trabajo que, el nivel medio del mar no es estacionario y

se encuentra experimentando un cambio que es posible detectar con el análisis de series de tiempo horarias del nivel del mar de una duración mayor a 40 años.

Varios autores han propuestos cifras de tasas de incremento del NMM sobre el análisis de registros mareográficos costeros de larga duración. Dichas tasas oscilan entre pocos milímetros a centímetros por año (Winckler *et al* 2009, USEPA 2009, Rahmstorf 2007, Slovinsky & Dickson 2006) y se obtuvieron principalmente sobre la base de registros en el hemisferio norte, donde se encuentra el mayor número de estaciones mareográficas de larga duración.

Las fluctuaciones del NMM se pueden explicar por fenómenos eutásticos (cambios debido al volumen del agua de los océanos) y fenómenos isostáticos (cambios en el nivel de la tierra). Esto implica que las tasas de cambio del nivel del mar son representativas a nivel geográfico local. Por este motivo, es importante conocer lo qué está ocurriendo en las costas de Chile, y compararlo con el comportamiento a nivel global. El presente trabajo tiene como objetivo realizar una primera estimación de las tasas de cambio del NMM a lo largo de las costas de Chile.

El nivel instantáneo de la superficie del mar es resultado de la superposición de diferentes fenómenos: (i) Cambios en el NMM (tendencia), que se explican por variaciones en el volumen total del océano por la expansión térmica y el cambio en el balance de masa, y efectos isostáticos. (ii) Astronómicos (mareas), que explican su variabilidad con la superposición de ciclos regulares que actúan a diferentes escalas: desde semidiurno a interdecadales. (iii) Meteorológicos, que alteran el nivel del mar por acción de la presión atmosférica y el viento. (iv) Ciclos irregulares, como los efectos generados por el fenómeno de El Niño.

## **Datos y Metodología**

Los datos fueron proporcionados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, SHOA. Se seleccionaron las siete series cuya extensión de registro supera los 40 años (Tabla I).

Tabla I Detalle de estadísticas utilizadas en el análisis del nivel del mar.

Estación	Latitud	Longitud	Duración	Inicio	Término	Nº datos	% Gaps
Arica	18°28'26"S	70°19'16"W	59 años	06/12/1950	31/12/2008	502.584	20,11
Antofagasta	23°38'57"S	70°24'09"W	64 años	06/12/1945	30/11/2008	556.322	7,93
Caldera	27°03'49"S	70°49'25"W	57 años	01/12/1950	30/11/2006	491.640	6,60
I. de Pascua	27°09'16"S	109°27'33"W	51 años	16/01/1957	29/04/2008	449.591	35,41
Valparaíso	33°01'38"S	71°37'33"W	65 años	02/01/1944	29/04/2008	563.904	21,54
Talcahuano	36°42'17"S	73°06'44"W	60 años	01/08/1949	29/06/2008	516.432	9,14
Pto. Williams	54°55'54"S	67°36'32"W	40 años	04/11/1964	01/04/2005	354.288	8,43
Total						<b>3.434.761</b>	<b>15,59</b>

Dichos registros se sometieron a controles de calidad y fueron referenciados a un *dátum* conocido. En general, el instrumental mantuvo la misma ubicación a través del tiempo, sin embargo han existido cambios con respecto de la tecnología instrumental utilizada: inicialmente se utilizaron mareógrafos estándar a flotador con registro gráfico, los que fueron reemplazados entre los años 1980 y 1985 por equipos *Metercraft* que operan con el sistema de burbuja neumática registrando la presión hidrostática de la columna de agua. A partir del año 1999, se renovó la red nacional, utilizando instrumentos digitales con la opción de transmisión satelital de los datos recolectados, sistema que se mantiene vigente hasta la fecha.

La metodología de análisis se basó en reconocer que existen diversas fluctuaciones sobre el NNM (Rahmstorf 2007, Gregory 2006). Esas fluctuaciones pueden ser explicadas por efectos astronómicos (mareas a distintas escalas: semidiurno y diurno, mensual, anual, e interdecadal como el ciclo de Metón), efectos Estacionales (mareas meteorológicas asociadas a los apilamientos por viento y oleaje) y variaciones cíclicas irregulares (paso de ondas Kelvin asociadas al ENOS). En la figura 1 se ilustran estas fluctuaciones para la serie de promedios mensuales de registros en Caldera.

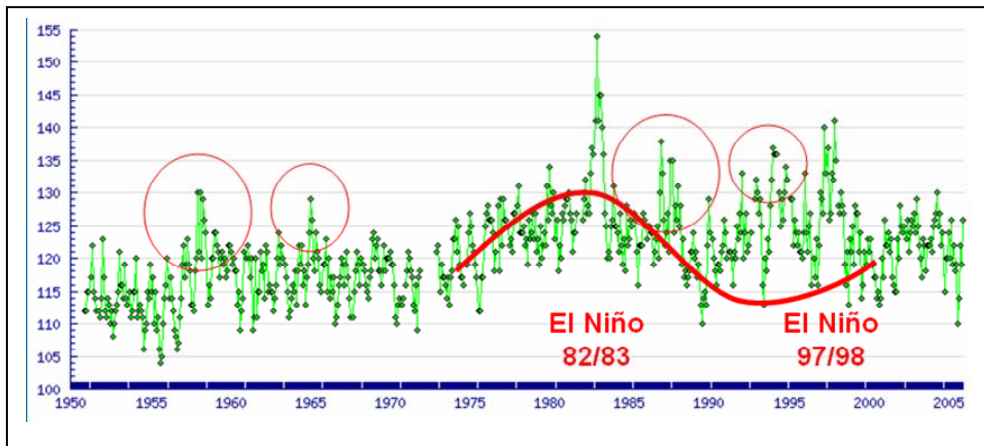


Figura 1: Promedios mensuales del nivel del mar horario registrado en Puerto Caldera entre los años 1951 y 2006. Se destaca un ciclo de Metón, las alteraciones en 20 a 30 cm producidas por el paso de las ondas Kelvin asociadas a los ENOS de los años 82 – 83 y 97 – 98. Además se han marcado *peaks* atribuibles a otros niños

A los datos originales del nivel del mar, se le aplicó filtros pasa bajo para eliminar los efectos de la marea, sin alterar el NMM. A las series filtradas resultantes, se les ajustó una curva de tendencia lineal.

## Resultados y Discusión

En la Tabla II, se muestran los principales resultados obtenidos para cada una de las siete localidades analizadas. Aunque el comportamiento principal del nivel medio del mar en las costas de Chile pareciera no tener grandes fluctuaciones en el tiempo, se encontró evidencia de cambios cíclicos asociados a fenómenos ENOS, con años Niño donde el nivel del mar puede alcanzar aumentos de hasta 30 [cm] sobre la tendencia, y años Niña con disminuciones del mismo orden.

La razón por que el NMM estaría descendiendo en el norte del país, parece encontrarse en una explicación isostática, debido a la confluencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, que estarían provocando un ascenso de la tierra y por consiguiente de las referencias con respecto a las cuales se registra el nivel del mar.

Isla de Pascua es la estación de registro con mayores tasas de incremento del NMM. Destaca también el caso de Puerto Williams, donde durante el siglo XX el NMM estaba descendiendo (se puede suponer como consecuencia de un rebote isostático debido a la desaparición de los glaciales), para pasar a una situación actual donde el NMM se encuentra en una importante fase de aumento.

Tabla II Tasa de variación media anual de estaciones mareográficas en Chile.

Localidad	Variación total [mm]	Tiempo [año]	Variación anual [mm/año]
Arica	- 82	58	- 1,4
Antofagasta	- 55	63	- 0,9
Caldera	+ 69	58	+ 1,2
Isla de Pascua	+ 162	51	+ 3,2
Valparaíso	+ 6	58	+ 0,1
Talcahuano	+ 88	59	+ 1,5
Puerto Williams	+ 90	41	+ 2,2

## Bibliografía

Gregory J (2006). Changes in sea level. Talk, CGAM and Hadley Centre, UK.

Pugh D. (2005). Changing Sea Levels: effects of tides, weather and climate. Cambridge, 265pp.

Rahmstorf S (2007). A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise [online]. Disponible en: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1135456>

Slovinsky P y S. Dickson (2006). Impacts of Future Sea Level Rise on the Coastal Floodplain. Disponible en: [www.maine.gov/doc/nrimc/mgs/explore/marine/sea-level/contents.htm](http://www.maine.gov/doc/nrimc/mgs/explore/marine/sea-level/contents.htm).

U.S.E.P.A. (2009). Coastal Sensitivity to Sea Level Rise: A Focus in the Mid-Atlantic Region [e-book]. Disponible en: [www.climate-science.gov/Library/sap/sap4-1/final-report/sap4-1-final-report-all.pdf](http://www.climate-science.gov/Library/sap/sap4-1/final-report/sap4-1-final-report-all.pdf)

Winckler P, M. Contreras, I. Sepúlveda, G. Barbet & M. Molina (2009). Efectos del cambio climático en las costas de Chile. Informe preparado para el Centro de Cambio Climático de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Grupo de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso. Disponible en [www.ingenieriaoceanica.cl](http://www.ingenieriaoceanica.cl) (Documento ICO 01-2009).