

# VULNERABILIDAD

DE LAS ZONAS COSTERAS DE LATINOAMÉRICA

# AL CAMBIO CLIMÁTICO

*Alfonso V. Botello, Susana Villanueva  
Jorge Gutiérrez y José Luis Rojas-Galaviz*

*Editores*



---

# VULNERABILIDAD DE LAS ZONAS COSTERAS DE LATINOAMÉRICA AL CAMBIO CLIMÁTICO

---

Alfonso V. Botello, Susana Villanueva,  
Jorge Gutiérrez y José Luis Rojas Galaviz (eds.)

VULNERABILIDAD DE LAS ZONAS COSTERAS  
DE LATINOAMÉRICA AL CAMBIO CLIMÁTICO

Botello A.V., S.Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático. UJAT, UNAM, UAC. 476 p.

© Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2017

© Universidad Nacional Autónoma de México, 2017  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

© Universidad Autónoma de Campeche, 2017  
Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX)

**ISBN 978-607-606-416-0**

# Contenido

<b>1. La vulnerabilidad costera: elementos para la construcción de su resiliencia</b>	<b>1</b>
Evelia Rivera-Arriaga	
<b>2. Breve análisis de ciclones tropicales en 162 años, coincidentes con variaciones climáticas y factores atmosféricos cíclicos del Pacífico mexicano y del golfo de México</b>	<b>29</b>
Guadalupe de la Lanza Espino, José Luis Carbajal Pérez y Salvador Hernández Pulido	
<b>3. Agua Antártica Intermedia en el golfo de México, indicativo del cambio climático (2017)</b>	<b>55</b>
Alberto Mariano Vázquez de la Cerda	
<b>4. El cambio del nivel del mar y eventos extremos en el Pacífico mexicano</b>	<b>85</b>
Ernesto Caetano, Luís Marton, Valdir Innocentini, Christian Domínguez, Arturo Caracas y Luis Galván	
<b>5. Cambio de uso de suelo en la zona litoral entre Ciudad del Carmen y Sabancuy en el estado de Campeche, México</b>	<b>105</b>
Eduardo López-González, Antonio Z. Márquez-García y Alma D. Toledo-Guzmán	
<b>6. Modeling hydrological regimes with the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) for integrated watershed and coastal zone management: from systematic review to scientific debate</b>	<b>117</b>
Verenice Escamilla-Rivera, Sergio Cortina-Villar & Jordi Honey-Rosés	

<b>7. Evaluación del riesgo de erosión en ciudades costeras de la provincia de Buenos Aires (Argentina)</b>	<b>133</b>
M. Luján Bustos, M.Cintia Piccolo y Gerardo M. E. Perillo	
<b>8. Influencia del viento, marea y aportes de aguas continentales en la dinámica de una laguna costera-estuarina. Aplicación a la ciénaga de Mallorquín, Colombia</b>	<b>149</b>
Franklin Torres-Bejarano y César Torres Marchena	
<b>9. Tendencias del nivel medio del mar en el litoral del Pacífico Sur Oriental</b>	<b>165</b>
Manuel Contreras-López, Jimmy Cevallos y Ricardo Torres	
<b>10. Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos en la zona de influencia costera de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, ante la elevación de nivel medio del mar asociada al cambio climático</b>	<b>177</b>
Ena E. Mata-Zayas, Lilly Gama, Cesar Vazquez-Navarrete, Hilda Diaz Lopez, José Manuel Figueroa Maheng y Joaquín Rincón Ramirez	
<b>11. Erosión costera y cambio climático en las costas del municipio de Salina Cruz, Oaxaca</b>	<b>205</b>
Vicente Torres Rodríguez, Andrea Bolongaro Crevenna Recasens y Antonio Zoilo Márquez García	
<b>12. Vulnerabilidad de humedales y dunas litorales en Chile central</b>	<b>227</b>
Manuel Contreras-López, Rodrigo Figueroa-Sterquel, Julio Salcedo-Castro, Hernán Vergara-Cortés, Carlos Zuleta, Víctor Bravo, César Piñones, y Fernanda Cortés-Molina	
<b>13. La zona costera de Argentina en un escenario de cambios climáticos: vulnerabilidad, perspectivas y tendencias</b>	<b>247</b>
Jorge E. Marcovecchio, Ana L. Oliva, Noelia S. La Colla, Micaela Vallina, Silvia G. De Marco, Fernando Hidalgo, Andrés H. Arias y Carla V. Spetter	

- 14. Tormentas severas: ¿Cuán vulnerables son las costas del sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina)?** 283  
María Cintia Piccolo, Alejandra Merlotto, M. Lujan Bustos,  
M. Andrea Huamantínco Cisneros y Mónica C. García
- 15. Servicios ecosistémicos y bienestar humano en la Reserva de la Biosfera de Pantanos de Centla, Tabasco, México: modelo de interacción** 297  
César J. Vázquez-Navarrete, Ena E. Mata-Zayas,  
Joaquín A. Rincón-Ramírez y David J. Palma-López
- 16. Efectos del cambio climático en la sensación higrotérmica en las poblaciones costeras mayores a 200 mil habitantes desde México hasta Panamá** 321  
A. Tejeda-Martínez, I. R. Méndez-Pérez y J. A. Guzzi-Férez
- 17. Mercury mobilization due to global climate and regional land use changes in the Jaguaribe River Estuary, NE Brazil** 333  
Luiz Drude Lacerda, Rozane Valente Marins & Mariany Cavalcante
- 18. Cambio climático y contaminantes orgánicos persistentes (COP) en mamíferos marinos** 345  
Carmen Rossana González Báez y Jaime Rendón von Osten
- 19. Vulnerabilidad de ecosistemas marino costeros sudamericanos a contaminantes orgánicos persistentes: panorama actual e histórico** 363  
Andrés H. Arias, Ana L. Oliva, Ana C. Ronda,  
Melina M. Orazi y Jorge E. Marcovecchio
- 20. Idoneidad ambiental de las tortugas marinas en el golfo de México: visión futura en un océano más caliente** 379  
Abigail Uribe-Martínez, María de los Ángeles Liceaga-Correa  
y Eduardo Cuevas

- 21. Respuesta ecofisiológica de los manglares del litoral de Campeche en condiciones de extrema sequía** 415  
Claudia Maricusa Agraz-Hernández, Carlos Armando Chan-Keb, Raquel Muñiz-Salazar, Gregorio Posada, Juan Osti-Sáenz, Jordan Efren Reyes Castellano, J.G. Martínez Kumul y K.P. Conde Medina
- 22. Vulnerabilidad de los ecosistemas bentónicos y pelágicos del Atlántico Sur al cambio climático** 435  
Melisa D Fernández Severini, Natalia S Buzzi, Florencia Biancalana, M. Sofía Dutto, Anabela A. Berasategui, Ana C. Ronda y Jorge E. Marcovecchio
- 23. Las zonas costeras ante el cambio climático: la infraestructura verde como estrategia para disminuir la vulnerabilidad de la costa de latinoamérica** 449  
Debora Lithgow, Luciana S. Esteves, María Luisa Martínez, Raúl Martell, Germán D. Rivillas, Patricio Winckler, Juan D. Osorio-Cano, Patricia Moreno-Casasola, Andrés F. Osorio, Edgar Mendoza, Pedro Pereira, Adolfo Campos C., Gonzalo Castillo-Campos y Rodolfo Silva
- 24. Los humedales costeros venezolanos en los escenarios de cambios climáticos: vulnerabilidad, perspectivas y tendencias** 461  
Críspulo Marrero y Douglas Rodríguez-Olarte





## SEMBLANZA DEL DR. ANDRES RESENDEZ MEDINA

El Dr. Andrés Reséndez Medina nació en la ciudad de Teapa, Tabasco el 21 de enero de 1935. Realizó sus primeros estudios en la ciudad de Villahermosa, incursionando después en el área de la telegrafía. Para continuar estudiando, se trasladó a la ciudad de México en 1953, donde cursó la secundaria, preparatoria y la licenciatura en Biología, de la cual egresó en 1963.

Debido a su interés en la investigación, se incorporó al laboratorio de Hidrobiología del Instituto de Biología de la UNAM, encabezado por el distinguido Carcinólogo, Dr. Alejandro Villalobos Figueroa; ahí conoció al Dr. Clarence P. Idyll del Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Miami en Florida quien, en 1964, le ofreció una beca para realizar estudios avanzados de Biología Marina, así como su tesis de licenciatura sobre los peces pipa de la bahía de Florida.



En 1966 fue nombrado investigador del Instituto de Biología, comenzando sus investigaciones sobre los peces de lagunas costeras del golfo de México y el mar Caribe con la laguna de Tamiahua en el estado de Veracruz. Posteriormente las lagunas de Alvarado, El Carmen-Machona-Redonda, Zontecomapan, Nichupté y Bojórquez y la laguna de Términos complementaron el panorama sobre la composición ictiológica de la costa oriental de México. Adicionalmente, incursionó en el estudio de los peces de arrecife, en “La Blanquilla” en Veracruz. Mientras llevaba a cabo estas investigaciones, continuó sus estudios de Maestría y Doctorado en la Facultad de Ciencias de la UNAM, obteniendo los grados en 1975 y 1980 respectivamente.

Sus investigaciones de los últimos tiempos abarcaron también a los peces de agua dulce, considerándose ya clásico su estudio sobre el pejelagarto y la tenguayaca; adicionalmente realizó un estudio sobre los peces de la Reserva de la Biosfera “Pantanos de Centla”. Los resultados de todas estas investigaciones se encuentran concentrados en 20 artículos que publicó en diversas revistas científicas, tanto nacionales como internacionales, como los Anales del Instituto de Biología de la UNAM, la Revista de Biología Tropical de Costa Rica, el Boletín del Instituto Oceanográfico de Sao Paulo en Brasil y la revista Universidad y Ciencia de la UJAT.

En el campo docente, el Dr. Andrés Reséndez jugó desde 1968 un importante papel como formador de profesionales de la Biología tanto a nivel de Licenciatura como de Maestría y Doctorado. La Facultad de Ciencias de la UNAM, la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, la División de Ciencias Biológicas y de la Salud en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana y la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT fueron las instituciones en donde transmitió su experiencia a una gran cantidad de estudiantes. En el año de 1971, su calidad como profesor le valió para ser invitado por la Universidad de Guayaquil, Ecuador, para dar un curso especializado de Ictiología para un grupo de Naturalistas de aquel país. Asimismo dirigió tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado en diferentes Universidades como la UNAM, la Universidad Veracruzana, la Autónoma del Estado de Morelos, la UAM Iztapalapa y la UJAT.

Desde su regreso a Tabasco en 1983, su deseo de aplicar sus conocimientos en beneficio de su estado, lo llevó a participar en tres ocasiones con el Gobierno del Estado como Asesor, Subdirector y Director de Fomento Pesquero de la entonces Secretaría de Desarrollo. En esta actividad tuvo la oportunidad de integrar la flota de barcos pesqueros que dieron a Tabasco una oportunidad para la pesca en altamar de camarón y escama y su comercialización internacional.

Consciente de la importancia de comunicar los resultados del trabajo profesional tanto hacia la comunidad científica como al público en general, el Dr. Reséndez también intervino en el campo editorial. En 1984 creó la revista "*Universidad y Ciencia*" como un vehículo de comunicación científica para dar a conocer los trabajos generados en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, siendo su editor hasta 1991. En la División Académica de Ciencias Biológicas, creó la revista de divulgación científica Kuxulkab', en donde se publican artículos de interés general relacionados con las Ciencias Ambientales, de la cual se mantuvo durante 4 años como su editor. Posteriormente formó parte del Comité Editorial de dicha División.

Casi cuarenta años de trabajo dedicado al estudio, fomento, difusión y enseñanza de la Biología han hecho del Dr. Andrés Reséndez Medina un paradigma de numerosas generaciones de Biólogos. El 2 de noviembre de 2005, falleció en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, siendo miembro de la Junta de Gobierno de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

# Presentación

En los últimos años, científicos de todo el mundo se han dedicado a estudiar los efectos del cambio climático, especialmente en las zonas costeras, debido a la gran importancia ecológica, social y económica que representan para el planeta.

Sin duda, las poblaciones asentadas en las zonas costeras son las más vulnerables y van a sufrir directamente, unas más que otras, las consecuencias del incremento en el nivel del mar y la presencia de huracanes cada vez con mayor intensidad y fuerza. Una de esas consecuencias es la acelerada erosión de las playas debido al aumento en altura y frecuencia del oleaje, con la consecuente destrucción de la infraestructura asentada en ellas.

En el golfo de México hay tres regiones vulnerables: la parte norte que comprende Tamaulipas y el norte de Veracruz; la parte de la costa del sureste, a partir del sur del estado de Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán; y la zona correspondiente a los estados de Sinaloa y Nayarit en el Pacífico mexicano.

En el caso del sur de Veracruz y Tabasco, su vulnerabilidad se debe a la orografía y la geología de la costa, la cual no está constituida por sedimentos consolidados (rocas y acantilados), sino por sedimentos arenosos (playas muy bajas) y, por lo tanto, el efecto de la elevación del nivel del mar y del oleaje podría ser devastador en ella.

En cuanto a las aportaciones de los científicos latinoamericanos, como el caso de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Panamá y Venezuela, también señalan problemas serios de vulnerabilidad en sus litorales tanto por erosión de la costa como por aumento del nivel del mar y las repercusiones que conlleva el cambio climático a los ecosistemas costeros como manglares, humedales, ríos y estuarios.

Es posible que, en un futuro no muy lejano, debido al aumento del nivel del mar y la fuerza del oleaje, los gobiernos estatales no le permitan a la gente habitar las zonas costeras vulnerables o incluso obliguen a los actuales pobladores a emigrar tierra adentro.

Los efectos del cambio climático en el ámbito nacional son muy variados; habrá zonas donde llueva más, otras en donde se acentuarán las sequías, habrá modificaciones en los ciclos agrícolas, salinización de las tierras, aparición de enfermedades emergentes, modificación y adaptación de las especies pesqueras, modificación en los patrones de migración de algunas especies y, sobre todo, modificación en el rendimiento de la captura de otras.

De ahí la importancia de que, además de un Plan Nacional y de distintos planes estatales de acciones frente al cambio climático, haya un sistema de alerta, para las poblaciones más expuestas y vulnerables, en el que participen activamente las Universidades, Institutos de Investigación, los diferentes niveles de Gobierno, los medios de comunicación y la sociedad en general.

Conscientes de esta gran tarea y de las necesidades de información actualizada, la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco publica este libro que, sin duda, será una gran aportación científica y apoyará el cumplimiento de la tarea esencial de la universidad que es el servicio a la sociedad.

Atentamente

***Dr. José Manuel Piña Gutiérrez***

Rector de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

# 13

---

## La zona costera de Argentina en un escenario de cambios climáticos: vulnerabilidad, perspectivas y tendencias

Jorge E. Marcovecchio<sup>1,2,3</sup>, Ana L. Oliva<sup>1</sup>, Noelia S. La Colla<sup>1</sup>,  
Micaela Vallina<sup>5</sup>, Silvia G. De Marco<sup>2,5,6</sup>, Fernando Hidalgo<sup>5,6</sup>,  
Andrés H. Arias<sup>1,4</sup> y Carla V. Spetter

1 INSTITUTO ARGENTINO DE OCEANOGRAFÍA, ARGENTINA

2 UNIVERSIDAD FASTA, ARGENTINA

3 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, ARGENTINA

4 INSTITUTO DE QUÍMICA DEL SUR, ARGENTINA

5 UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA, ARGENTINA

6 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS, ARGENTINA

E-MAIL: jorgemar@iado-conicet.gob.ar

### RESUMEN

La zona costera del Mar Argentino, al igual que las de otras regiones del planeta, está afectada por diferentes procesos ambientales que modifican su vulnerabilidad y ponen en crisis parte de la infraestructura humana que contiene. Los principales procesos involucrados son: a) Cambios en el nivel del mar; b) Cambios en la temperatura del agua de mar; c) Cambios en la salinidad; d) Modificaciones del funcionamiento del buffer carbonato-bicarbonato ( $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ ); e) Cambios en el balance de nutrientes y f) Modificación del régimen de tormentas, tanto en frecuencia como

---

Marcovecchio, J.E., A.L. Oliva, N.S. La Colla, M. Vallina, S.G. De Marco, F. Hidalgo, A.H. Arias, y C.V. Spetter, 2017. La zona costera de Argentina en un escenario de cambios climáticos: vulnerabilidad, perspectivas y tendencias. p. 247-282. En: Botello A.V., S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático. UJAT, UNAM, UAC. 476 p.

en intensidad. En el presente capítulo se realiza un análisis sinóptico de la situación actual de la zona costera del Mar Argentino, y se proyectan los posibles escenarios que pueden desarrollarse a futuro frente a las modificaciones que suceden paulatinamente.

**Palabras clave:** zona costera, Mar Argentino, vulnerabilidad, procesos ambientales, futuros escenarios.

## ABSTRACT

The coastal area of the Argentine Sea, just as those of other regions of the planet, is affected by different environmental processes; this modifies its vulnerability and places part of the human infrastructure that it contains under crisis. The main processes involved are: a) changes in sea level; b) changes in seawater temperature; c) changes in salinity; d) modifications in the carbonate-bicarbonate buffer ( $\text{CO}_3^{2-}\text{HCO}_3^-$ ) performance; e) changes in nutrient balance; and f) modification of storm patterns, both in frequency and intensity. This chapter presents a synoptic analysis of the current situation of the coastal area of the Argentine Sea, as well as the projection of the scenarios that may possibly develop in the future as the result of progressive modifications.

**Key words:** Coastal zone, Argentine Sea, vulnerability, environmental processes, future scenarios.

## INTRODUCCIÓN

La Zona Costera (zc), como sistema de transición entre el continente y el océano, ha sido reconocida entre los ambientes de más alta productividad, mayor cantidad y diversidad de recursos naturales y significativa importancia para el desarrollo de las actividades humanas (Turner *et al.*, 1996; Small & Nicholls, 2003; Martínez *et al.*, 2007). La tasa de explotación de los recursos costeros, la expansión de la jurisdicción marítima hacia el límite de 200 millas y la amenaza del aumento del nivel del mar, entre otros, representan un tremendo reto para el manejo de la zc. Este complejo sistema natural ha sido drásticamente modificado a lo largo del tiempo, particularmente en el siglo xx, debido al asentamiento de poblaciones en expansión y crecientes actividades económicas (Church *et al.*, 2010a). La mayoría de las grandes ciudades del mundo están ubicadas en la zc o en su área de influencia, y entre el 25 y el 30% de la población humana mundial vive en una franja costera de ~60 km (Holligan y de

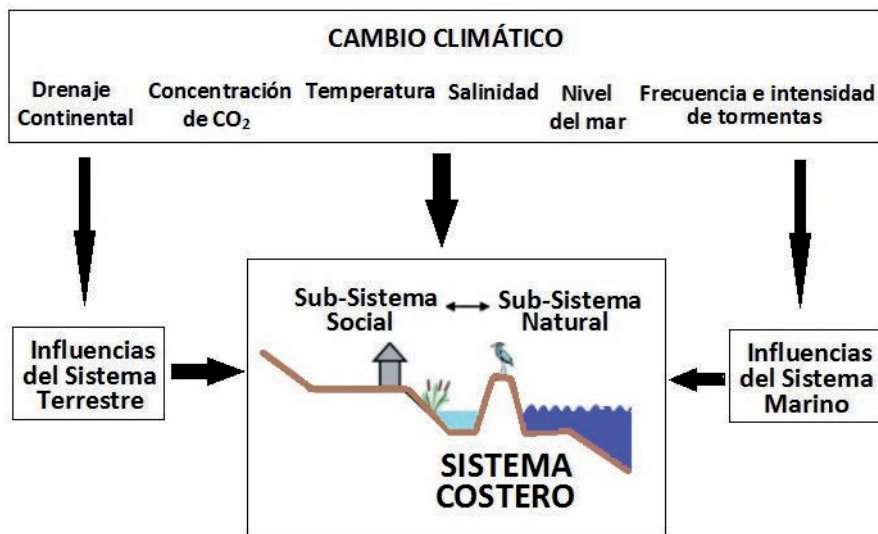
Boois, 1993; Tol *et al.*, 2008). En la zc se concentran puertos e infraestructuras portuarias asociadas, industrias de diferentes clases (*e.g.* petroquímicas y refinerías, plásticos, fertilizantes y agroquímicos, alimentos, fármacos, textiles), plantas generadoras de energía e infraestructura edilicia de soporte para otras actividades (Sachs *et al.*, 2001; McGranahan *et al.*, 2007). Además de los beneficios económicos generados por la extracción de recursos naturales, los ecosistemas costeros son proveedores de servicios ambientales críticos, como son reciclado de nutrientes, control de inundaciones, refugio de diferentes especies biológicas, tratamiento de efluentes antrópicos y desarrollo de actividades culturales y recreativas (Scavia *et al.*, 2002). A pesar de que estos servicios ecosistémicos normalmente no se encuentran incluidos en los mercados tradicionales, Costanza *et al.* (1997) estimaron que los ambientes costeros y marinos representan más de la mitad del valor de los servicios ecosistémicos globales.

Este fenómeno también se da en Latinoamérica y en el caso particular de Argentina la mayoría de sus ciudades más importantes (*e.g.* Buenos Aires, La Plata, Mar del Plata, Bahía Blanca, Rosario, Santa Fe, Puerto Madryn, Comodoro Rivadavia, entre otras) están localizadas en la ZC, y los datos del Censo Nacional de Población del 2010 mostraron que ~21 millones de personas (sobre una población total de 40.2 millones) viven en la ZC o su área de influencia, lo que representa el 52.24% (INDEC, 2010). Estos datos destacan la importancia multidimensional de la ZC, y el potencial impacto que puede implicar una modificación manifiesta. Así, la evaluación de la vulnerabilidad de la ZC a cambios ligados en el sistema climático mundial adquiere gran importancia. En este sentido, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) definió la vulnerabilidad como “la medida en que un sistema natural

o social es susceptible de sufrir daños por el cambio climático”, e indicó además que es una función de la magnitud de ese cambio, de la sensibilidad del sistema y de su capacidad de adaptación a las modificaciones observadas (Watson *et al.*, 1998).

Precisamente, la ZC debe ser entendida como una región donde interactúan procesos propios de los continentes con aquellos que caracterizan al océano, los cuales generan un sistema de equilibrios múltiples y de diferentes grados de fragilidad que la hacen única en el planeta (Hinkel y Klein, 2009) (figura 1).

Los procesos que ocurren en la ZC (figura 1), así como las condiciones en las cuales se desarrollan pueden ser modificados por numerosas causas, y el cambio climático –en cualquiera de sus expresiones– puede ser una de ellas. Entre las manifestaciones de cambio climático que pueden afectar la estabilidad y funcionamiento de la ZC se



**Figura 1.** Interacciones en la Zona Costera (ZC) y sus potenciales relaciones con el cambio climático.

presentan: a) Cambios en el nivel del mar; b) Cambios en la temperatura del agua de mar; c) Cambios en la salinidad; d) Modificaciones del funcionamiento del buffer carbonato-bicarbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{HCO}_3^-$ ); e) Cambios en el balance de nutrientes; f) Modificación del régimen de tormentas, tanto en frecuencia como en intensidad; entre otros. Los procesos ligados a cambios en el sistema climático de la Tierra no son nuevos, y de hecho se han producido numerosas veces a lo largo de la historia de nuestro planeta (Pörtner y Langenbuch, 2005; Thompson *et al.*, 2006; Brooke, 2014); sin embargo, ésta es la primera vez que la actividad del hombre —a través de la quema de combustibles fósiles, la deforestación, la contaminación ambiental, el derroche energético, el uso indiscriminado

de fertilizantes de nitrógeno, el uso de gases fluorados, entre otras— se suma a los factores naturales y generan una aceleración de este cambio (Vitousek *et al.*, 1997; Walther *et al.*, 2002; Crutzen, 2006).

La ocurrencia de cualquiera de estos procesos puede generar consecuencias devastadoras en la ZC, tanto estructurales (*e.g.* pérdida de superficies emergidas por inundación, destrucción de sistemas naturales por tormentas, etc) como funcionales (*e.g.* cambios en los patrones de circulación/regulación del clima, erosión) (Antonioli *et al.*, 2006; Bindoff *et al.*, 2007). El resultado de estos efectos depende no sólo de los cambios en los mencionados procesos sino también de la configuración y conformación del sistema costero afectado.

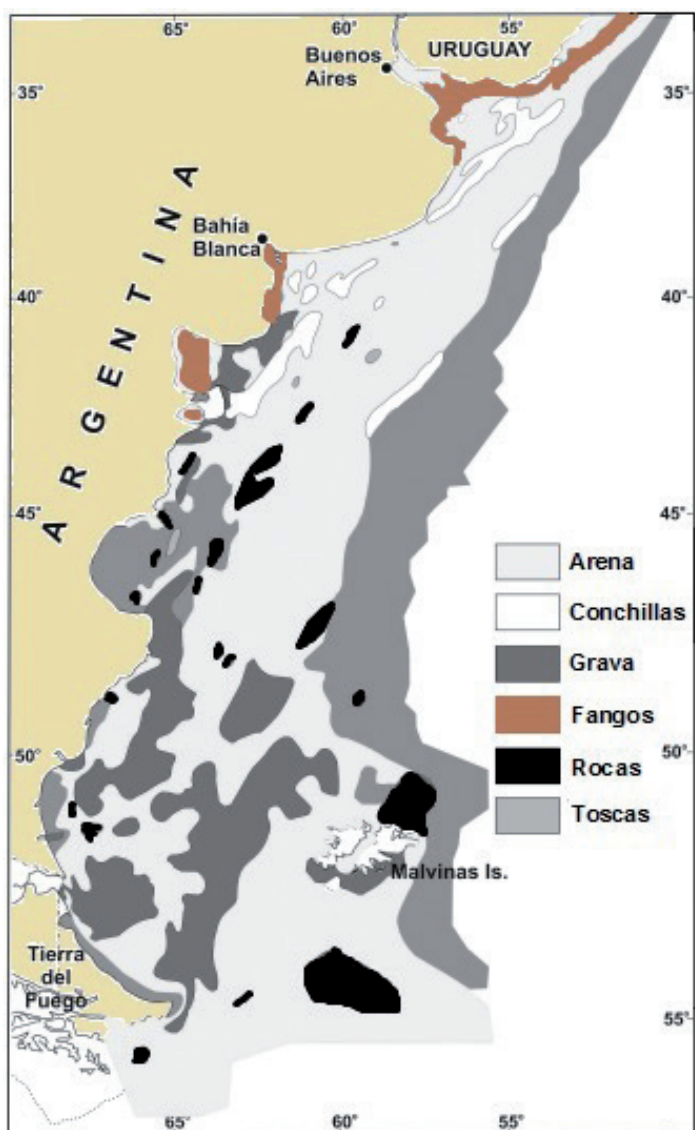
## LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA COSTERA DE ARGENTINA

La costa de Argentina tiene una extensión de 6 816 km (Diez, 2007), con áreas relativamente estables en el norte, ascendentes en la Patagonia (sur de la costa argentina) y tectónicamente afectadas en Tierra del Fuego (figura 2) (Perillo *et al.*, 2006; Boretto *et al.*, 2013; Violante *et al.*, 2014). La plataforma continental, que en algunos lugares puede alcanzar más de 800 km de ancho, está cubierta por sedimentos terrígenos acumulados durante las oscilaciones del nivel del mar en el Cuaternario (Schnack *et al.*, 2010). La mayoría de las playas de la zona norte de la costa argentina son de arena y pendientes muy suaves, mientras que las de Patagonia son de grava y suelen incluir barrancas y acantilados (Kokot, 2004; Fucks *et al.*, 2012; Diez, 2007).

Los sistemas costeros de esta región están afectados por regímenes micromareales (< 2 m) en la zona norte/centro del litoral de provincia de Buenos Aires, mesomareales (entre 2 y 4 m) en el sur de esa provincia, y macromareales (> 4 m) en Patagonia y Tierra del Fuego (Perillo *et al.*, 2006).

Uno de los procesos oceanográficos más importantes que ocurre en la plataforma del Mar Argentino es el choque de las corrientes de Brasil (alta temperatura, baja salinidad, baja concentración de nutrientes) y de Malvinas (baja temperatura, alta salinidad y concentración de nutrientes), que genera la Confluencia Subtropical del Atlántico Sur (González Silvera *et al.*, 2006; Chiessi *et al.*, 2007). Las aguas de la plataforma del Mar Argentino son el producto





**Figura 1.** Distribución de sedimentos en la plataforma y margen continental de Argentina. La mayor parte de la plataforma está dominada por arena, derivada de erosión costera durante la última transgresión (modificado de Perillo *et al.*, 2006).

de la mezcla de varios tipos diferentes: agua costera, subantártica, subtropical y parcialmente mezcladas, y sus correspondientes proporciones relativas y grados de mezcla varían según el sector latitudinal que se esté

considerando (García *et al.*, 2010; Lara *et al.*, 2010; Matano *et al.*, 2010). La salinidad muestra una variación estacional muy marcada (Piccolo, 1998), que puede oscilar desde ~33 (en las proximidades de las des-

cargas del Río de La Plata y de la laguna de Los Patos) hasta ~34 (en las aguas patagónicas).

El frente más importante del Mar Argentino es del talud, donde aguas subantárticas de plataforma interactúan con aguas de Malvinas más frías y de mayor salinidad, creando un frente termohalino permanente que bordea toda la plataforma hasta 30°S. Piola *et al.* (2000) han definido un frente de talud subtropical alrededor de la isobata de 50 m en 32°S que se extiende hacia el sur hasta 36°S. Este frente termohalino subsuperficial se produce por una extensión de la confluencia Brasil/Malvinas sobre la plataforma, que separa las aguas subtropicales y subantárticas.

Estas características son importantes si se considera que los océanos tienen una gran capacidad de almacenamiento de calor, y son los principales reservorios planetarios de vapor de agua y de CO<sub>2</sub> (Williams y Follows, 2011; Shakun *et al.*, 2012). De esta manera, cambios en el sistema climático pueden inducir amplias variaciones en la temperatura del agua, lo que genera efectos en la circulación oceánica, frecuencia e intensidad de eventos extremos, presencia y tamaño de las cubiertas de hielo o nivel del mar, los que afectan finalmente la estructu-

ra y funcionamiento del ecosistema marino y de sus ciclos biogeoquímicos (Kawahata y Awaya, 2007). Es un hecho largamente documentado (*e.g.* Levitus *et al.*, 2012; Marshall *et al.*, 2015) que la circulación oceánica termohalina juega globalmente un rol muy importante en el control y la distribución de calor y de gases de efecto invernadero, proceso controlado por diferencias en la temperatura y salinidad del agua de mar. Otro proceso oceánico que merece ser considerado es la depositación e inmersión en la matriz sedimentaria de carbono orgánico en los sedimentos marinos, que remueve CO<sub>2</sub> atmosférico y lo retiene durante períodos muy prolongados (Bianchi, 2011; Hansell y Carlson, 2015). En el contexto de esta temática, Sarmiento *et al.* (1998) modelaron el secuestro de carbono en el océano en el escenario de niveles crecientes de CO<sub>2</sub> y el cambio climático registrado/pronosticado para el período 1765-2065, y registraron cambios sustanciales en el ciclo marino del carbono, especialmente en el océano Austral debido a los aportes crecientes de agua dulce y aumento de la estratificación, lo que reduciría significativamente el flujo vertical descendente de carbono y la pérdida de calor hacia la atmósfera (IPCC, 2012).

## **¿CUÁLES SON LOS POTENCIALES EFECTOS QUE PUEDEN PRODUCIR LAS DISTINTAS MANIFESTACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA ZONA COSTERA?**

Cuando se producen cambios en el sistema climático se generan nuevos balances ambientales que determinan diferentes manifestaciones en la ZC. Cualquiera de ellas pueden afectar la estructura, estabilidad y

funcionamiento de los ecosistemas incluidos en la ZC, y de esta manera producir impactos sobre la sociedad humana. Se han realizado numerosas descripciones de las posibles manifestaciones del cambio climá-

tico que pueden afectar a la ZC y entre ellas se destacan:

- Cambios en el nivel del mar
- Cambios en las condiciones físico-químicas del agua de mar: temperatura, salinidad, balance de nutrientes
- Modificaciones del funcionamiento del *buffer* carbonato-bicarbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{HCO}_3^-$ )
- Modificación del régimen de tormentas
- Cambios en la biodiversidad asociada

En diferentes regiones del planeta se han desarrollado estudios dirigidos a evaluar estos procesos y pronosticar las consecuencias asociadas (IPCC, 2007; Nicholls, 2010). A continuación se analizarán brevemente los mencionados fenómenos, y se sintetizará lo realizado en Argentina al respecto.

### Efectos de cambios en el nivel del mar

Estudios previos señalan que más de 200 millones de personas alrededor del planeta viven en áreas extremadamente vulnerables a la inundación por aumentos en el nivel del mar (Hoozemans *et al.*, 1993; Mimura, 2000), y esta cantidad podría aumentar a ~800 millones para el 2080 debido tanto a crecimiento poblacional como a la migración hacia la costa (Nicholls, 2004). Esos cambios relativos en el nivel del mar tienen una marcada variación espacial, y pueden ocurrir a escala local, regional o global (Purkey y Johnson, 2010). El cambio en el nivel del mar puede tener diferentes factores forzantes (*drivers*) que lo generan, tanto individual como asociadamente, y que pueden ser agrupados en dos conjuntos: los que modifican el volumen de agua del océano (*e.g.* por cambios en el balance ingreso/egreso de agua, o por cambios en la densidad del agua) y los que modifican la forma de las cuencas oceánicas (Mitchum

*et al.*, 2010). Entre estos *drivers* se pueden mencionar: a) Derretimiento de hielos continentales; b) Aumento de temperatura en el agua de los océanos y cambios en la dinámica oceánica; c) Motivos no climáticos (*e.g.* tectonismo, ajustes glacio-isostáticos, etc.); d) Procesos de subsidencia natural o antropogénicamente inducidos (FitzGerald *et al.*, 2008; Nicholls y Cazenave, 2010).

Obviamente los efectos sobre la ZC pueden ser mucho más graves si varios de los mencionados fenómenos se producen simultáneamente. Si en una zona en la que el nivel del mar está ascendiendo aumenta también la frecuencia e intensidad de tormentas, los efectos conjuntos pueden ser devastadores y más prolongados en el tiempo. Sirve como ejemplo el impacto del huracán Katrina en la costa de New Orleans (EUA) en agosto de 2005, que produjo casi 2000 víctimas humanas y más de 100 000 millones de dólares en daños en la región (Cutter *et al.*, 2006).

Además, otros tipos de procesos naturales puede también potenciar el aumento del nivel del mar con la consecuente afectación de la ZC. En este sentido se ha descrito y documentado el efecto del aumento de actividad de los giros (*eddies*) oceánicos por cambios en la dinámica del sistema (Firing y Merrifield, 2004), del cambio en los límites extremos de las condiciones hidro-meteorológicas (van den Brink *et al.*, 2005), o del aumento de frecuencia e intensidad de fenómenos ligados a la variabilidad climática como la NAO (Northern Atlantic Oscillation) o El Niño-ENSO (El Niño Southern Oscillation) (Wakelin *et al.*, 2003; Hough-Guldberg y Bruno, 2010).

Desde el punto de vista histórico, los cambios de nivel del mar han sido un hecho frecuente y conspicuo en nuestro planeta (Overpeck *et al.*, 2006; Haq y Schutter,

2008). En el marco de estas oscilaciones se puede certificar que la última era en la que prácticamente no existían capas de hielo permanentes sobre los continentes en la Tierra ocurrió hace más de 35 millones de años (durante el Eoceno tardío, en el Terciario) cuando la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  era de  $1250 \pm 250$  ppm. En ese momento la Tierra estaba más caliente como resultado de una mayor concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y el nivel del mar estaba a unos 70 m por encima de los valores actuales (Alley *et al.*, 2005). Alrededor de 32 millones de años atrás (Oligoceno), las contribuciones de  $\text{CO}_2$  cayeron a  $500 \pm 50$  ppm, en coincidencia con la formación de la capa de hielo antártico, y el nivel del mar cayó hasta unos 30 m más que el de la actualidad (Alley *et al.*, 2005). Resulta interesante comparar estos datos con los actuales: en el período pre-industrial las concentraciones atmosféricas de  $\text{CO}_2$  eran de 280 ppm, y se vieron aumentadas paulatinamente; en 2009 era de 387 ppm, y mostró un aumento anual de  $\sim 2$  ppm (Church *et al.*, 2010a). Las condiciones climáticas más parecidas a las esperadas para la última parte del siglo XXI ocurrieron durante el último interglacial, hace unos 125 000 años. Paleodatos de esa época sugieren que las tasas de elevación del nivel del mar fueron  $\sim 1,6 \pm 0,8$  m/siglo (Rohling *et al.*, 2008), y el nivel del mar estuvo en el orden de 4 - 6 m por encima de los valores actuales (Overpeck *et al.*, 2006), con temperaturas medias globales alrededor de 3 - 5°C más altas que las de hoy (Otto-Bliesner *et al.*, 2006). Esto claramente señala que en las décadas venideras las actividades humanas que se desarrollan en la ZC se verán afectadas y requerirán de acciones concretas de defensa y/o mitigación. En este sentido, la estimación de los

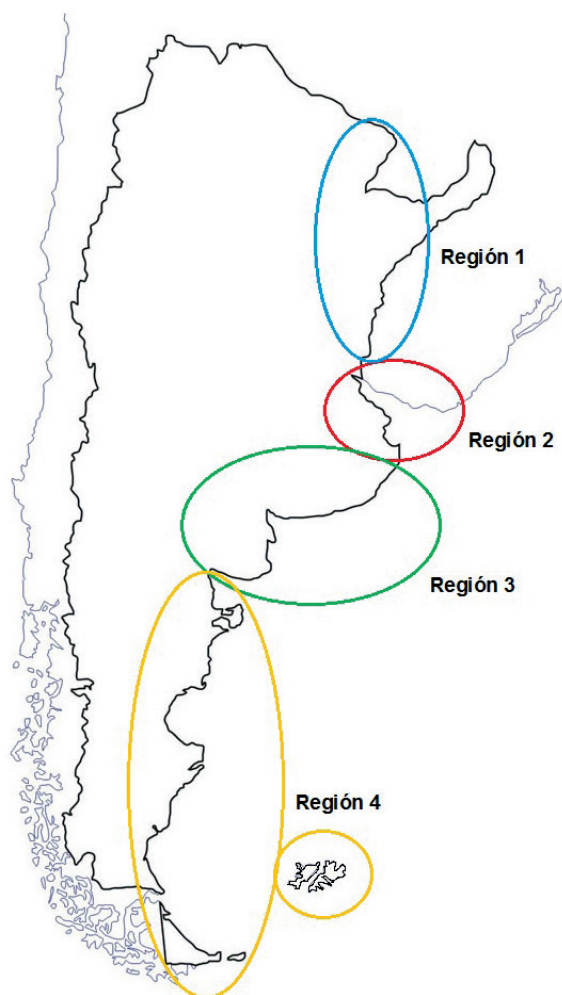
tamaños de las poblaciones en riesgo se está realizando cada vez con más frecuencia para guiar la toma de decisiones y para la formulación de políticas estratégicas (Mondal y Tatem, 2012). Por ejemplo, muchos países están llevando adelante este tipo de evaluaciones en términos de desastres naturales y causados por el hombre (Doocy *et al.*, 2007; Butler, 2011), el hambre (Balk *et al.*, 2005) y/o la enfermedad (Hay *et al.*, 2009; Linard y Tatem, 2012). Así, se puede certificar que el nivel del mar ha aumentado globalmente  $\sim 10\text{-}20$  cm (o  $\sim 1\text{-}2$  mm.año<sup>-1</sup>) durante los últimos 100 años, y se pronostica que este aumento se acelerará en los próximos 100 años considerando el cambio de condiciones del agua de mar y el derretimiento de los glaciares alpinos (IPCC, 2007). Aún cuando la emisión de GEI se detuviera y/o estabilizara, la tasa de aumento del nivel del mar continuaría aumentando más allá del 2100, considerando el tiempo que requieren tanto los océanos como las capas de hielo para alcanzar las nuevas condiciones con la atmósfera (Scavia *et al.*, 2002).

¿Qué avances hay en Argentina en este tema?... La extensión del país y la distribución heterogénea de su población hace que los trabajos que se han desarrollado también estén básicamente ligados a algunas zonas particulares de la costa, en tanto que otras áreas de la misma carecen de estudios.

Barragán Muñoz *et al.* (2003) hicieron una propuesta que sienta las bases para la formulación de un Programa de Manejo Costero Integrado para este país, en el cual -entre otras cosas importantes- se identifican algunas regiones de la ZC que resultan de particular interés. Entre ellas vale destacar: a) Una gran región fluvial, que incluye los ríos Paraguay, Uruguay y Paraná y sus cuencas tributarias, que desembo-

ca en la gran Cuenca del Plata, drenando una superficie de más de 1 000 000 km<sup>2</sup>. b) La región del Río de la Plata, que tiene ~320 km de longitud y ~230 km de ancho en su boca, y que genera un estuario de aproximadamente 35 000 km<sup>2</sup>. Desemboca en el océano Atlántico, y cuando los vientos predominantes son del SE se genera el principal fenómeno meteorológico que la impacta, denominada *sudestadas* y que

usualmente determina la inundación de diferentes partes de la cuenca (Pizarro *et al.*, 2007). c) La ZC de la región pampeana, representada básicamente por el litoral de provincia de Buenos Aires (~35-41°S). d) La ZC de la Patagonia (~41-55°S) que incluye las provincias de río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego e islas del Atlántico Sur (figura 3).



**Figura 3.** División de la Zona Costera de Argentina propuesta por Barragán Muñoz *et al.* (2003). Región 1: Región Fluvial de los ríos Paraguay, Uruguay y Paraná; Región 2: Cuenca del Río de la Plata; Región 3: Zona Costera Pampeana; Región 4: Zona Costera Patagónica.

Las cuatro áreas identificadas son vulnerables a potenciales inundaciones producidas por aumentos en el nivel del mar, aunque con tasas de riesgo diferentes. Las regiones 1 y 2 ya han mostrado ser muy frágiles ante cambios en los niveles de agua del sistema, y a lo largo del siglo xx y particularmente en lo transcurrido del xxi se han registrado numerosas inundaciones (Pappenberger *et al.*, 2012), en la primera debido básicamente a cambios en el régimen de precipitaciones y drenaje de la cuenca, mientras que en la segunda ligado al fenómeno de sudestadas previamente mencionado (Depetris *et al.*, 2003). En este sentido, se ha informado el aumento en la frecuencia de incidencia de vientos del sudeste y también de su velocidad sobre la zc de la provincia de Buenos Aires a partir de las décadas de 1980-1990, con un aumento relativo de la altura de olas incidentes, lo que se ha manifestado también con un aumento de la erosión de algunos sectores como la bahía Samborombón (Coddignotto *et al.*, 2012).

Algunos autores han informado que el régimen de lluvias es mayor durante el verano para la región de Argentina, Paraguay y sur de Brasil, con variaciones notables en los niveles medios históricos, y que ambos fenómenos -precipitaciones excedentes y deficientes- causan problemas graves en esta zona (Barros *et al.*, 2000). Esta variabilidad se potencia en los períodos de El Niño (Grimm *et al.*, 2000), o por cambios en la temperatura del agua de mar superficial en el océano Atlántico próximo a la región (Díaz *et al.*, 1998).

Otro efecto grave del aumento del nivel del mar que ha sido pronosticado es la intrusión salina sobre los acuíferos costeros (ipcc, 2007; 2012), magnificada por cambios en la precipitación, temperatura y

evapotranspiración. En tal sentido, algunos autores (Pousa *et al.*, 2011; Carretero *et al.*, 2013) informaron que algunas zonas de la costa de la provincia de Buenos Aires (Región 3 de la figura 3) son particularmente frágiles frente a este proceso, y que pueden ser consideradas altamente vulnerables.

Estos aspectos son importantes si se tiene en cuenta que los potenciales impactos socio-económicos del aumento del nivel del mar incluyen pérdida directa de suelos o tierras con valor económico/productivo, ecológico y/o cultural, de infraestructura y de hábitats costeros; aumento de riesgo de las poblaciones por inundación y otros impactos ligados a cambios en la salinidad, condiciones y calidad de las aguas y actividad biológica (Klein y Nicholls, 1999).

### **Cambios en las condiciones físico-químicas del agua de mar: temperatura, salinidad, balance de nutrientes**

El patrón de distribución anual de parámetros físico-químicos del agua de mar (fundamentalmente de temperatura y salinidad) reflejan las características hidrológicas y climáticas del sistema y condicionan su funcionamiento ecológico (Evans y Hofmann, 2012; Godbold y Solan, 2013). Esto se complementa con la concentración de nutrientes en la columna de agua, que en la zc es principalmente aportada a través de la actividad biológica y del intercambio sedimento-agua (Rabalais *et al.*, 2009). Cambios significativos en estos parámetros pueden modificar sensiblemente la dinámica y/o el escenario funcional del sistema (FitzGerald *et al.*, 2008; Bianchi, 2011).

Los océanos son un componente central del sistema climático, ya que almacenan y transportan inmensas cantidades de calor (Bindoff *et al.* 2007- calcularon que ~90%



del calor absorbido por la Tierra como resultado del calentamiento global de los últimos 50 años está almacenado en los océanos). El calentamiento del océano produce su expansión y aumento de nivel. La expansión del océano es una función de su temperatura, presión y salinidad; la combinación del efecto de temperatura y salinidad (cambio estérico del nivel del mar) interviene en la generación de cambios regionales en el nivel del mar, pero el exclusivo de la temperatura es determinante en la modificación promedio del nivel global del océano (Church *et al.*, 2010b). La expansión térmica del océano fue el mayor contribuyente al aumento medio del nivel del mar durante el siglo xx y se pronostica que esto continúe durante el siglo xxi (Bindoff *et al.*, 2007; Meehl *et al.*, 2007).

Por otro lado, el aumento global de temperatura ha inducido al aumento de la fusión de hielo continental y/u oceánico, con una consecuente disminución de la salinidad en la zona de descarga, y las estimaciones indican que el incremento del nivel del mar en la segunda mitad del siglo xx debido a esos aportes podrían ser del orden de  $0,6 \text{ mm.año}^{-1}$  (Wadhams y Munk, 2004) a  $1,3 \text{ mm.año}^{-1}$  (Antonov *et al.*, 2002). La variabilidad espacial del cambio estérico del nivel del mar está relacionada con procesos de dinámica oceánica, particularmente los de redistribución horizontal y vertical de calor y de sal a través del intercambio aire-agua y de la circulación del océano (Yin *et al.*, 2010). En términos cuantitativos, las reservas de hielo más importantes en el planeta son las capas de Antártida y Groenlandia, los glaciares de montaña y las capas de hielo temporarias; su potencial derretimiento podría significar un aumento del nivel del mar de muchos metros (Steffen *et al.*, 2010).

También la relación precipitación/evaporación tiene una destacada influencia en la salinidad del sistema, y puede generar variaciones significativas a diferentes escalas espaciales (Durack *et al.*, 2012). Las propiedades del suelo y su correspondiente cubierta vegetal también juegan un rol significativo, modificando el balance final de agua circulante y la turbulencia que se genera en el sistema (Friend *et al.*, 1997).

El rol del océano como regulador del sistema climático mundial a través de la circulación oceánica termohalina (*ocean conveyor belt* -OCB-) ha sido claramente reconocido, así como las potenciales consecuencias de su disfunción (Lozier, 2010). Este sistema redistribuye energía solar absorbida en las zonas tropicales y subtropicales hacia los polos suavizando parcialmente su clima; un ciclo completo de este sistema en los océanos tarda alrededor de 2 000 años (Imura, 2009). La OCB se ha detenido numerosas veces a lo largo de la historia del planeta, y cuando eso ocurre algunas regiones de la Tierra se pueden volver extremadamente frías aún cuando en otras partes la temperatura puede estar aumentando. Los cambios climáticos, desde el enfriamiento hasta el calentamiento, han estado involucrados en la mayoría de los procesos de extinción masiva que ha sufrido el planeta a lo largo de su historia (Wilf *et al.*, 2003). Por ejemplo, el enfriamiento global ha sido responsabilizado por las extinciones del Ordovícico tardío (Trotter *et al.*, 2008) o del Cretácico/Terciario, este último provocado por el impacto de un gran asteroide (Schulte *et al.*, 2010). Por su parte el calentamiento global, usualmente generado por un aumento significativo de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, ha sido central en varios escenarios de procesos de extinción masiva; en particular el

de fines del Pérmico es el más importante, considerando su magnitud (~90% de las especies presentes fueron afectadas), y una de sus piezas principales fue la disfunción de la OCB (Joachimski *et al.*, 2012). La intervención de estos procesos climáticos generó alternativa o simultáneamente efectos de aumento del nivel del mar, modificación significativa de la dinámica oceánica y anoxia/disoxia, lo que determinó la extinción de numerosas especies (Hallam y Wignall, 1997).

Otro proceso de importancia en la ZC es la distribución/re-distribución de nutrientes, que también puede estar profundamente condicionado por cambios en el sistema climático (Smith *et al.*, 2003). Estos compuestos inorgánicos, básicamente los de nitrógeno, fósforo y silicio, llegan a la ZC desde fuentes naturales (*e.g.* degradación biológica o química de la materia orgánica, transportados por ríos, por erosión de suelos, etc.) o antrópicas (*e.g.* descargas de efluentes urbanos e industriales, lixiviación de rellenos sanitarios, aplicación de fertilizantes para la agricultura) (Cloern, 2001). Cambios en el sistema climático, como modificaciones en el régimen de precipitaciones, variaciones de la temperatura, o alteraciones de la frecuencia e intensidad de tormentas, pueden generar un cambio significativo en el aporte de nutrientes a la ZC, y producir consecuencias potencialmente graves sobre el funcionamiento del sistema (Mackenzie *et al.*, 2000). Entre esos efectos se destaca el de la eutroficación, que es el aumento de la tasa de producción primaria y acumulación de materia orgánica debido al ingreso excesivo de nutrientes inorgánicos en el sistema (Nixon, 1995), y ha sido largamente documentado en diferentes ambientes del planeta (Bartossek *et al.*, 2010 ; Paerl *et al.*, 2014). La eutroficación puede

ser un fenómeno global, con repercusiones en las tramas tróficas, la calidad del agua y la química acuática, hasta eventualmente llegar a producir un colapso total del sistema (Rabalais, 2004). El exceso de carga de nutrientes en el sistema costero dispara una cascada de reacciones biológicas, químicas y físicas que llevan al sistema a una crisis muy severa (figura 4).

¿Cuál es la situación en la ZC de Argentina respecto a estos temas? Haylock *et al.* (2006) indicaron una tendencia creciente en las precipitaciones en la zona norte de la cuenca del Paraná y lo relacionaron positivamente con la temperatura del Atlántico Sur en la región asociada, a la vez que observaron cambios en la circulación de este océano. Además concluyeron que fenómenos periódicos (como *El Niño*) aumentan este efecto, al menos en la región atlántica del sur de Sudamérica. En un estudio de la misma índole Rusticucci y Penalba (2000) sostuvieron que los períodos cálidos y fríos estaban asociados con precipitaciones por encima y por debajo de la media histórica respectivamente. También informaron que en los meses de otoño y primavera esa correlación es positiva en la zona oriental de Argentina y Paraguay, y representa el mecanismo de máximas precipitaciones para el área, que son principalmente resultado de ciclogénesis. Por otro lado, las tendencias de variación temporal de la temperatura en Argentina mostraron una variabilidad interanual en otoño, invierno y primavera, con períodos de 3 a 5 años; la tendencia de los veranos sugiere una variabilidad de muy baja frecuencia, con períodos mayores a 20 años (Rusticucci *et al.*, 2003). En el mismo sentido, Vincent *et al.* (2005) estudiaron las temperaturas diarias extremas en diferentes regiones de Argentina por un período muy prolongado, y las tendencias





**Figura 4.** Representación esquemática de la cascada de efectos generados por el aumento de nutrientes en la ZC. (Trazos negros representan procesos usuales en el sistema, y trazos rojos efectos deletéreos y/o peligrosos).

observadas mostraron la existencia de un calentamiento de las temperaturas nocturnas, con pocas noches frías y muchas más noches cálidas. Esta situación permite un intercambio de calor más sostenido entre el océano y la atmósfera.

Por otro lado, Rignot *et al.* (2003) estudiaron la pérdida registrada en los 63 glaciares más grandes de la Patagonia durante el período 1968-2000, y concluyeron que la masa de hielo derretida y aportada al océano Atlántico era equivalente a un aumento del nivel del mar de  $0.042 \pm 0.002$  mm.año<sup>-1</sup>, aunque al discriminar ese período en fracciones más pequeñas observaron que durante 1995-2000 ese aumento fue de  $0.105 \pm 0.011$  mm.año<sup>-1</sup>, duplicando así el promedio del período completo.

Arias *et al.* (2012) estudiaron una larga serie de datos temporales en el estuario de

Bahía Blanca, en el sur de la provincia de Buenos Aires, y pudieron verificar la existencia de una muy ajustada relación entre la salinidad del sistema y las precipitaciones, con una respuesta muy rápida frente a los cambios. De la misma manera, registraron la presencia de muy marcadas anomalías en la distribución temporal de temperatura del sistema, y en coincidencia con lo propuesto por Marcovecchio y Freije (2004), atribuyeron esas variaciones a la ajustada correlación entre la temperatura del agua del estuario y la temperatura atmosférica asociada. Esto permite concluir que cambios en la temperatura del aire o en las precipitaciones modifican rápidamente la condición termohalina del estuario.

En cuanto a la distribución de nutrientes en aguas marinas de la región, hay numerosos estudios que han aportado valiosa

información. Braga *et al.* (2008) evaluaron la zona marina desde Itajaí (en el sur de Brasil) hasta Mar del Plata (en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina), e informaron grandes aportes de compuestos de N y P desde la corriente de Malvinas (que proviene del sur del Atlántico), y de N, P y Si desde continente a través de las descargas de agua dulce. Esto coincide con los resultados presentados por Nagy *et al.* (2002), quienes informaron descarga de nutrientes del Río de la Plata hacia el Atlántico Sur, así como la existencia de indicios de eutrofización incipiente para algunas zonas del mencionado estuario. Huret *et al.* (2005) describieron el acople físico-biogeoquímico del sistema estuarial, y concluyeron que el Río de la Plata funciona como un gran exportador de nitrógeno orgánico hacia la plataforma del Mar Argentino, y que retiene el inorgánico en la zona interna del estuario.

Marcovecchio y Freije (2004) estudiaron el estuario de Bahía Blanca, al sur de la provincia de Buenos Aires, y lo definieron como un sistema naturalmente eutrófico, asociado a una muy alta producción biológica del sistema ( $\sim 300 \text{ mg C.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ , según Freije y Gayoso, 1988), una gran tasa de mineralización/re-mineralización y al elevado aporte desde el sistema continental adyacente. Posteriores estudios de Popovich *et al.* (2008), Popovich y Marcovecchio (2008) y Spetter *et al.* (2015) ratifican estos resultados, y resaltan la natural tendencia a la eutrofia de este ambiente. También debe tenerse en cuenta que este estuario recibe numerosas descargas antrópicas en su zona interna, que aumentan el aporte de nutrientes y materia orgánica (Marcovecchio, 2000; Freije y Marcovecchio, 2004; Freije *et al.*, 2008), por lo que su vulnerabilidad se ve aumentada.

García *et al.* (2008) postularon que la zona del frente de talud que se produce entre las aguas de la plataforma del Mar Argentino y la corriente de Malvinas es altamente productiva, y que su sostén principal son los nutrientes aportados por la mencionada corriente. Estos datos fueron ratificados por los trabajos posteriores de Papparazzo *et al.* (2010) y de Pisoni *et al.* (2015). Sin embargo, y a diferencia de lo observado en la zona norte del litoral argentino, en la ZC no se registra una marcada influencia de los aportes continentales que modifiquen significativamente los niveles de producción (Esteves *et al.*, 2000). Esto está probablemente relacionado con el paisaje de la Patagonia Atlántica, que es una zona desértica y con muy escasa vegetación, de suelos muy poco productivos, y en la que además los ríos y cursos de aguas superficiales han sido descriptos como oligotróficos (Quirós, 1988), y que por lo tanto aportan una muy pequeña cantidad de nutrientes y materia orgánica al sistema costero marino (Depetris *et al.*, 2005).

La situación es diferente en Tierra del Fuego, donde el aporte de nutrientes desde las fuentes continentales es muy importante y representa un soporte nutricional trascendente para la producción biológica del sistema costero (Amín *et al.*, 2011). Simultáneamente se han identificado fuentes antrópicas de gran magnitud para la región (Torres *et al.*, 2009), lo que aumenta su vulnerabilidad a procesos de eutrofización (Glorioso y Flather, 1995).

### **Modificaciones del funcionamiento del *buffer* carbonato-bicarbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ - $\text{HCO}_3^-$ ): acidificación**

Los océanos se están acidificando debido a un proceso dominado por el aumento del  $\text{CO}_2$  atmosférico. Este representa uno de

los mayores problemas que enfrentan los ecosistemas marinos debido a las consecuencias globales profundas e irreversibles que implican en escalas de tiempo ecológicas (Doney *et al.*, 2009). La concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico ha oscilado entre 180 y 280 ppm durante los ciclos glaciales-interglaciales de los últimos 400 mil años, y ha aumentado rápidamente a partir de la Revolución Industrial, hace unos 250 años, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles, a los cambios en el uso de la tierra, la deforestación y otras actividades humanas (IPCC, 2001; Feely *et al.*, 2004; Sabine *et al.*, 2004; Doney *et al.*, 2009). Actualmente, la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico es de 380 ppm y alcanzaría entre 550 y 900 ppm para el año 2100, dependiendo del control sobre las emisiones (IPCC, 2001; Mora *et al.*, 2013). El aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es amortiguado por los océanos, los cuales han capturado ~30% del exceso de CO<sub>2</sub> emitido desde el período industrial (Sabine *et al.*, 2004).

Las áreas costeras, incluyendo las plataformas continentales, son zonas con un alto intercambio de carbono entre la atmósfera y con el océano abierto (Bauer *et al.*, 2013). Aunque comprenden sólo el 7-10% de la superficie de los océanos, las áreas costeras capturan entre 0.2 y 0.6 Pg C.año<sup>-1</sup>, lo que corresponde a ~10-30% de la captura oceánica global (2.3 Pg C.año<sup>-1</sup>; Arruda *et al.*, 2015). En general, tienden a actuar como un sumidero de carbono en latitudes altas y medias (30-90°) y como una fuente débil de carbono en latitudes bajas (0-30°). Sin embargo, las grandes variaciones espacio-temporales en los flujos de CO<sub>2</sub> entre el aire y el mar (debido a variaciones en producción primaria, aporte terrestre, estratificación y mezcla estacional a lo largo de la plataforma continental) hacen que las

zonas más próximas a la costa actúen como fuente de CO<sub>2</sub>, mientras que las más próximas al talud actúen como sumidero (Cai, 2003).

En la costa argentina existen fuentes y sumideros de CO<sub>2</sub> bien diferenciados. Hacia el sur, la plataforma de Patagonia es una fuente de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera en la zona más próxima a la costa, mientras que las regiones media y externa (próxima al talud) actúan como un sumidero (Bianchi *et al.*, 2009). La transición entre fuentes y sumideros está relacionada con los frentes de marea que se desarrollan entre primavera y otoño entre las masas de aguas costeras verticalmente homogéneas y las estratificadas de la zona media y externa de la plataforma. La región estratificada está asociada a altos valores de clorofila *a* (producida por el fitoplancton) lo que sugiere que el sumidero se origina por el secuestro de CO<sub>2</sub> del agua por fotosíntesis (Bianchi *et al.*, 2005; 2009). A lo largo del año, el balance neto de los flujos de CO<sub>2</sub> indican que el mar de Patagonia actúa como un importante sumidero de CO<sub>2</sub> (Bianchi *et al.*, 2009). Hacia el norte, la plataforma del sudeste de Brasil y el talud actúan como fuentes de CO<sub>2</sub> durante todo el año (Ito *et al.*, 2005).

El aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico y la resultante modificación en la química del agua de mar tienen efectos variados sobre los organismos marinos (Fabry *et al.*, 2008; Doney *et al.*, 2009), incluyendo la capacidad de producir estructuras calcificadas, cambios en procesos fisiológicos, metabólicos, reproductivos y de comportamiento (Johnson *et al.*, 2014; Widdicombe y Spicer, 2008; Beniash *et al.*, 2010; Manríquez *et al.*, 2013). Esto genera también cambios en las interacciones entre los organismos (Ferrari *et al.*, 2011; Kroeker *et al.*, 2014) y por lo tanto en la estructura y dinámica

de las comunidades y ecosistemas. De este modo, las consecuencias de la acidificación oceánica (AO) van más allá de sus efectos directos e indirectos sobre los organismos y sus interacciones, sino que puede impactar sobre las propiedades emergentes de los ecosistemas como la productividad, ciclado de nutrientes y los recursos y servicios ecosistémicos que de ellos derivan (provisión de alimento, protección costera, purificación del agua). Sin embargo, la dirección de estos cambios y la generalización sobre sus consecuencias ecosistémicas son aún imprecisas.

En los últimos años se han centrado los esfuerzos en los efectos de la AO sobre equinodermos y corales del océano Austral, los efectos sobre las interacciones en las comunidades intermareales y los efectos combinados de la AO y otros forzantes (radiación UV, temperatura, nutrientes) sobre las comunidades costeras patagónicas de fitoplancton y zooplancton. Los trabajos publicados hasta el momento han demostrado el rol de la plataforma continental en el balance de los flujos de carbono entre el mar y la atmósfera (Bianchi *et al.*, 2005; 2009) y la relación entre la producción primaria asociada a los frentes y la captación de carbono por fotosíntesis (Bianchi *et al.*, 2009; Berghoff *et al.*, 2013; Arruda *et al.*, 2015). Por otro lado, Malvé *et al.* (2016) demostraron la relación entre el tamaño de gasterópodos costeros y los valores de pH a lo largo de un gradiente latitudinal, mientras que Villafañe *et al.* (2015) se focalizaron en los impactos de la radiación UV, nutrientes y pH sobre la comunidad fitoplanctónica costera de Patagonia, y sugieren que en un escenario futuro de cambio climático la productividad primaria podría aumentar y sostener una importante producción secundaria (*e.g.* pesquerías), en el

caso de que las condiciones nutricionales del fitoplancton no se vieran afectadas.

Por último, Arias *et al.* (2012) analizaron una larga serie temporal de datos oceanográficos en el estuario de Bahía Blanca y concluyeron que (1) el sistema se está alcalinizando lentamente, y (2) variaciones en la temperatura, pH y salinidad del sistema restringen el crecimiento del fitoplancton, afectando de esta manera a toda la trama trófica.

### **Aumento de frecuencia e intensidad de tormentas**

Uno de los temas de mayor interés en los estudios ligados al cambio climático es el del potencial aumento en la ocurrencia de eventos extremos, como pueden ser tormentas o fenómenos asociados que pueden generar severos efectos en forma directa o indirecta (Easterling *et al.*, 2000). Esto incluye desde aumentos de frecuencia de precipitaciones, intensidad de vientos, cambios en la temperatura que lleven a la generación de eventos extremos (*e.g.* tornados, huracanes, etc.) hasta modificaciones indirectas producidas por aumento de la altura de olas, incremento de la erosión o destrucción de infraestructura localizada en la ZC (Shepard *et al.*, 2012). De esta manera la manifestación que puede presentar este tipo de impacto del cambio climático abarca desde procesos muy sencillos y directos hasta formas complejas de alteración de fenómenos naturales.

Lanfredi *et al.* (1998) describieron las tormentas que caracterizan la región norte de la ZC de Argentina, e informaron que pueden durar desde unas pocas horas hasta 2 o 3 días, y que pueden elevar el nivel del agua hasta ~1,5 m por encima de la marea astronómica. Sus efectos pueden ser desde moderados hasta catastróficos, en función

de la dirección del viento dominante, y en general las del sudeste suelen ser las de mayor intensidad y peligrosidad. Las sudestas han generado numerosas inundaciones en la región del Río de la Plata (incluyendo las ciudades de Buenos Aires y La Plata, y sus respectivas regiones metropolitanas), así como enormes efectos erosivos sobre las playas arenosas de esta zona. Estos autores calificaron la zc del norte del litoral atlántico de Argentina como altamente vulnerable a los efectos de tormenta.

Fiore *et al.* (2009), estudiaron la costa de Mar del Plata, propusieron un *índice de potencial erosión por tormentas* (SEPI), que mostró un valor creciente -aumento de erosión- para el período 1956-2005, y observaron además que la década 1996-2005 presentaba un aumento del 7% respecto a cada una de las décadas previas. También en este caso los autores sostienen que ésta es una costa vulnerable frente a este tipo de fenómenos.

En el mismo sentido, Dragani *et al.* (2010) propusieron la existencia de un aumento en la intensidad de los vientos dominantes sobre la costa norte de la zc de Argentina, básicamente entre los 32° y 40°S, lo que resultaría en una magnificación de procesos históricos naturales como la erosión de las playas arenosas de la región.

Por último, Codignotto *et al.* (2012), sostuvieron que existe un aumento significativo en la frecuencia, intensidad y duración de las tormentas que afectan la región del Río de la Plata en Argentina.

### Efectos sobre la biodiversidad

La zc, en términos generales, suele ser un ámbito en el que confluyen “puntos calientes” (*hot spots*) no sólo de biodiversidad

sino también de desarrollo humano (Sala *et al.*, 2000). Además, como sistema de interfase entre el continente y el océano, posee una elevada diversidad de organismos que comparten algunas características con la biota terrestre y también con la acuática, sea dulceacuícola o marina. Desde este punto de vista, la zc constituye un ecosistema complejo con una matriz biótica muy particular, que presenta adaptaciones evolutivas y fisiológicas a procesos estresantes como cambios en la intensidad lumínica, la salinidad, el pH, cambios en la frecuencia e intensidad de las mareas, así como a la desecación, alta radiación UV y la energía de olas (Fabry *et al.*, 2008; Benish *et al.*, 2010).

Entre los numerosos servicios ecosistémicos que ofrecen las zc, constituyen áreas de cría de juveniles de muchas especies de peces, así como sitios de nidación de muchos animales como tortugas, aves costeras, mamíferos marinos, *ítems* presa para aves y otros organismos terrestres (Defeo *et al.*, 2009).

El contexto actual de cambio climático ubica a la zc como una región frágil y vulnerable, en la que la biodiversidad se verá deteriorada significativamente en los próximos años y producirá grandes pérdidas, tanto ecológicas como económicas (IPCC, 2007, 2012).

En estos ecosistemas se han observado cambios adversos en la biodiversidad. A modo de ejemplo se citan el blanqueamiento de arrecifes de corales y enfermedades en pastos marinos y en bivalvos. El aumento de organismos productores de enfermedades y de especies algales productoras de florecimientos tóxicos está fuertemente influenciado por factores ambientales como cambios en la frecuencia e intensidad de las

precipitaciones, en el pH, en la temperatura del agua, intensidad de vientos, CO<sub>2</sub> disuelto y salinidad (Fabry *et al.*, 2008).

Aunque la magnitud de los cambios físicos asociados al cambio climático global son aún inciertos (IPCC, 2007), las respuestas ecológicas (por ej., cambios en la fenología, fisiología, distribución y composición de las comunidades biológicas e interacciones específicas) se están manifestando de manera creciente en algunos tipos de zonas costeras (Brown y McLachlan, 2002; Jones *et al.*, 2007).

Los cambios en las oscilaciones climáticas de gran escala han sido vinculados con cambios en los sistemas marinos, particularmente en las poblaciones de peces (IPCC, 2007). También se han detectado fluctuaciones en la abundancia de aves y mamíferos marinos que podrían estar relacionadas con cambios climáticos persistentes (IPCC, 2007). Estos cambios afectan tanto a las poblaciones de predadores tope, como a las de organismos de todos los niveles de la trama trófica.

A modo de ejemplo, el aumento de las temperaturas tendría diferentes implicancias a distintas latitudes y para *taxa* con diferentes historias de vida y rangos de distribución. Las especies exhibirán diferentes capacidades que les permitan soslayar los cambios en las temperaturas, y por lo tanto serán diferencialmente vulnerables al cambio climático (Poloczanska *et al.*, 2013).

Las especies endémicas de rango estrecho de distribución estarían en gran riesgo (O'Hara, 2002) y eventualmente podrían ser reemplazadas por especies de latitudes menores. Incluso las especies migratorias, así como las que tienen larvas pelágicas pueden verse afectadas directamente por los grandes cambios en los sistemas oceanográficos predominantes.

Los organismos de ecosistemas costeros puede responder a los efectos indirectos de los cambios de temperatura. Pequeños cambios en los valores de esta condición ambiental pueden generar cambios importantes en ecosistemas planctónicos oceánicos (Richardson y Schoeman, 2004), en los que el plancton constituye el principal componente biótico, que a su vez está vinculado con organismos suspensívoros. De tal modo, se pueden generar efectos “cascada” entre comunidades adyacentes. Así, cambios en las asociaciones planctónicas podrán producir impactos impredecibles en los componentes pelágicos y bentónicos de variados ecosistemas. Los cambios podrían ser determinantes en especies semiterrestres, los cuales serían afectados directa e indirectamente por cambios tanto en la temperatura del agua como la del aire (Poloczanska *et al.*, 2013).

Otra consecuencia directa del calentamiento del mar es el aumento del nivel del mismo. Dicho proceso empuja el límite de las pleamares, lo que conduce a una migración de la línea de costa hacia el interior. Las costas con un bajo gradiente de disipación que albergan una elevada biodiversidad son las que se encuentran en mayor riesgo debido a su naturaleza erosiva.

Por otra parte, la AO reduciría las velocidades de calcificación y el metabolismo del calcio en organismos marinos (Feely *et al.*, 2004).

El cambio climático se pone de manifiesto en múltiples fenómenos físicos y químicos, los que generan, directa o indirectamente, cambios (pérdida, aumento, reemplazo) en la biodiversidad. Esto no modifica sólo la composición de la matriz biótica del ecosistema, sino también el funcionamiento del mismo, alterando las tramas tróficas, la producción primaria, el



transporte de materiales a través de los ciclos biogeoquímicos y los flujos de energía (Vazquez Botello *et al.*, 2008) que deviene finalmente en el cambio de la oferta de servicios ecosistémicos.

El cambio climático entonces, puede generar un “efecto cascada” que involucra los parámetros físicos, químicos y biológicos, que resulta en cambios en la biodiversidad a distintos niveles (genético, de la comunidad o ecosistema) (IPCC, 2012). En síntesis, es ampliamente reconocido que el cambio climático y la biodiversidad están íntimamente relacionados (Bowland, 2006) y que cualquiera de las variables ambientales gobernadas por el cambio climático tendrán efectos sobre la biodiversidad de la ZC, así como de todas aquellas funciones ecosistémicas en las que la biodiversidad esté involucrada.

## En Argentina

Existen numerosos estudios relacionados con la biodiversidad en la ZC de Argentina, aunque pocos son aquellos que vinculan al cambio climático con cambios en la biodiversidad.

La ZC de Argentina es una de las más extensas en Latinoamérica (London *et al.*, 2012), y está enmarcada en términos biogeográficos, en el dominio llamado oceánico Atlántico, y, dentro de éste, en la subregión denominada Plataforma Patagónica (PP), según la clasificación propuesta por Large Marine Ecosystems (LMEs), que define a las subregiones como “áreas del océano caracterizadas por distinta batimetría, hidrología, productividad e interacciones tróficas” (<http://www.lme.noaa.gov>). La PP se extiende a lo largo de 5 649 km (Barragán Muñoz *et al.*, 2003; Defeo *et al.*, 2009) en la costa sudamericana del océano Atlántico, desde el norte de Uruguay (33°

51'21'' S) hasta el extremo sur de Argentina, en el límite con Chile (54° 55'39'' S). Su superficie abarca más de 3 000 000 000 km<sup>2</sup>, se extiende en los territorios argentino y uruguayo, y comprende los ambientes costeros, la plataforma continental y el talud, así como el fondo oceánico.

A su vez, la PP se divide en dos provincias zoogeográficas, la Provincia Argentina (al norte, figura 3, región 3) y la Magallánica (al sur, figura 3, región 3). El encuentro y sutil solapamiento de ambas provincias (*sensu* Miloslavich *et al.*, 2011) o zonas (Barragán Muñoz *et al.*, 2003) se da cerca de península Valdés (figura 3, zona norte de la región 4). La transición costera entre ambas asociaciones faunísticas ocurre entre los 43° y 44° S (Miloslavich *et al.*, 2011). En tanto, el Río de la Plata (figura 3, región 2) parece actuar como una barrera biogeográfica para muchas especies templado-cálidas y subtropicales.

La biodiversidad costera de la región está fuertemente influenciada por la historia física y geológica de estas costas (Miloslavich *et al.*, 2011). La zona costera argentina posee mayoritariamente playas de arena (Gallardo y Penchaszadeh, 2001; Lutz *et al.*, 2003), y formaciones rocosas ubicadas principalmente en Mar del Plata (figura 3, región 3) y península Valdés (figura 3, región 4).

En términos generales, la biodiversidad marina de Argentina y Uruguay es de aproximadamente 3 776 especies. Los invertebrados contribuyen con un 75% de los registros totales; los moluscos (22.5%), crustáceos (16.2%) y peces (14.3%) son los taxa más diversos, y junto con los equinodermos, cnidarios y macroalgas contribuyen en un 65.3% del total (Miloslavich *et al.*, 2011). 44 de las 129 especies de mamíferos marinos del planeta se distribuyen

en el Atlántico Sudoccidental (ASOS). De las 36 especies conocidas de pinnípedos, 10 pertenecen a estas costas. El 16% de los mamíferos marinos que habitan el ASOS son endémicas o tienen una distribución limitada (las especies delfín del Plata, delfín austral y delfín Commersoni). La ballena franca austral cría en aguas de los golfos norpatagónicos, la segunda área más importante luego de Sudáfrica en términos de número de ejemplares (Miloslavich *et al.*, 2011).

Se han registrado 147 especies de aves marinas y costeras, pertenecientes a 9 órdenes y 24 familias, dentro de las cuales las diferentes especies de pingüinos representan la mayor biomasa (Miloslavich *et al.*, 2011). Las costas del sur de Patagonia son además sitios importantes de alimentación y descanso de cerca de 20 especies de aves costeras migratorias neoárticas y patagónicas, cuyas distribuciones y rutas migratorias son bastante bien conocidas (Miloslavich *et al.*, 2011). Sin embargo, se sabe poco acerca de la distribución y abundancia de las restantes especies costeras. Veinticinco de las especies de aves registradas en la pp están en las listas de especies amenazadas de Birdlife International (Miloslavich *et al.*, 2011). Muchas de estas especies son carismáticas, constituyen un atractivo turístico y, junto con el contexto del paisaje, forman parte de la oferta de servicios ecosistémicos culturales (incluyendo la recreación, la apreciación estética, el disfrute y esparcimiento) más importantes de la región.

En general, macroalgas y bivalvos son los grupos más abundantes en la zona intermareal de las costas rocosas de Argentina, sin considerar las asociaciones microbianas, cuyo metabolismo, productividad y dinámica permiten comprender procesos biogeoquímicos y otros aspectos que están

sometidos a presiones crecientes por actividades humanas y cambio climático (Miloslavich *et al.*, 2011).

Sullivan Sealey y Bustamante (1999) indican que la región 2 es de elevada importancia biológica debido, entre otros aspectos, a su alta productividad biológica (Miloslavich *et al.*, 2011).

En términos de amenazas, la Unión Internacional par la Conservación de la Naturaleza (UICN) ha evaluado 223 especies de la región bajo estudio, de las cuales 65 especies están en peligro real (entre ellas 39 especies de peces, 5 mamíferos, 16 de aves y 5 de tortugas). La mayoría de las amenazas a estas especies están dadas por actividades humanas de variada índole. En los últimos años, la introducción de especies ha producido invasiones biológicas que amenazan seriamente la biodiversidad local y que acarrea severas consecuencias inclusive a nivel económico (Orensanz *et al.*, 2002; Penchaszadeh *et al.*, 2005; Bigatti y Penchaszadeh, 2008; Schwindt, 2008).

En relación con el fitoplancton, los grupos taxonómicos más conocidos son las diatomeas y los dinoflagelados (Miloslavich *et al.*, 2011). La dinámica del fitoplancton de la región ha sido estudiada minuciosamente en zonas estuariales (Popovich y Marcovecchio, 2008). En relación con los organismos procariontes, Covacevich *et al.* (2012) informaron por primera vez la presencia de arqueobacterias en el Mar Argentino, que podrían participar de manera protagónica en la dinámica ecosistémica durante la primavera. Finalmente, la actividad y diversidad de bacterias degradadoras de hidrocarburos y aceites fueron evaluadas en aguas templadas y sedimentos de zonas costeras de Argentina (Cubitto y Cabezali, 1996; Lozada *et al.*, 2008).



Las propuestas explicativas acerca de la biodiversidad en la zona costera son variadas y no revelan por sí mismas sus tendencias y patrones de distribución de riqueza y equitatividad (Rex *et al.* 1993; Rosenzweig, 1995; Roy *et al.*, 1998; Coates, 1998; Engle y Summers, 1999; Boltovskoy *et al.*, 2005; Mittelbach *et al.*, 2007; Iken *et al.*, 2010). Sin embargo, para todos los grupos estudiados, la temperatura superficial del mar fue identificada como el mayor forzante (*driver*) para estos patrones (Tittensor *et al.*, 2010).

De tal manera, entonces, el cambio climático global afectaría a todos los *taxa* nombrados, aunque seguramente con distinta magnitud y sentido. De hecho, se espera que los corrimientos en la distribución de especies asociados al cambio climático aumenten en frecuencia en el futuro cercano (Miloslavich *et al.*, 2011).

A menor escala espacial, Carranza y Rodríguez (2007) estudiaron la fauna bentónica en el Banco Inglés (Río de la Plata, Uruguay, figura 3, región 2), en vista de la degradación de los hábitats acuáticos alrededor del mundo, particularmente en áreas costeras, y concluyeron que los patrones de biodiversidad de hábitats estuariales están estructurados principalmente en respuesta al ambiente físico. Ergo, cambios en el ambiente físico como los que puede producir el cambio climático podrían determinar cambios en la biodiversidad del ecosistema en estudio.

Por su parte, García *et al.* (2010) informaron que en una región que va desde las aguas dulces del Río de la Plata hasta la parte superior del talud (figura 3, región 2), la salinidad y temperatura de fondo fueron las variables ambientales determinantes de la estructura de las asociaciones a través de las áreas, en tanto que el cambio en la es-

tructura entre las áreas fue gradual y con límites flexibles. De esta manera, cambios en las condiciones de la salinidad y temperatura pronosticadas como efectos del cambio climático global, desarrollarían cambios en la composición y el funcionamiento de las comunidades de peces.

Jaureguizar *et al.* (2006) realizaron un estudio a escala ecosistémica en la zona norte de la costa argentina (figura 3, regiones 2 y 3) para proponer el manejo de pesquerías basado en el enfoque ecosistémico. Estos autores indican cambios en la comunidad de peces a lo largo del tiempo y asociadas con diferentes variables ambientales (principalmente temperatura del fondo y profundidad), ambos parámetros susceptibles de ser modificados por el cambio climático.

En Mar del Plata (figura 3, zona norte de la región 3), las porciones rocosas de la costa están dominadas por dos especies de mejillones y por una diversa comunidad macroalgal con una zonación claramente marcada (Negri *et al.*, 2004; Boschi y Cousseau, 2004)

En el estuario de Bahía Blanca (Provincia de Buenos Aires) (figura 3, zona media de la región 3), estudios preliminares mostraron que las playas están sujetas a erosión del orden de 3 a 5 m.año<sup>-1</sup> (Pratolongo *et al.*, 2006; Bustos *et al.*, 2009) y, aun así, se pronostica un aumento promedio del nivel del mar del orden de 1.5 m (Perillo, 1997), que cubriría permanentemente este estuario con la pérdida de grandes humedales costeros, que constituyen paradas importantes en las rutas de aves migratorias, así como hábitat de especies autóctonas (London *et al.*, 2012). El estuario alberga una variada fauna y su porción interior es el hábitat de un florecimiento fitoplanctónico invernal único que da inicio a la red trófica que finalmente provee de alimento

a muchas especies comerciales que dan sustento económico a la población humana (London *et al.*, 2012) (éste constituye otro ejemplo más del ya mencionado “efecto cascada”). Estudios de percepción social indican que los habitantes de la zona destacan la ausencia de moluscos, cambios en el comportamiento de medusas, y una presencia cada vez más frecuente de especies antárticas como tortugas, pingüinos y lobos marinos (London *et al.*, 2006).

La zc Patagónica (figura 3, región 4) (o según Miloslavich *et al.*, 2011: Provincia Magallánica) es considerada una región relativamente prístina, donde la biodiversidad marina tiene un valor económico importante debido al creciente desarrollo de pesquerías y de turismo basado en la vida silvestre (Commendatore y Esteves, 2007).

En ausencia de estudios que evalúen el efecto del cambio climático como proceso complejo, o bien de alguno/s de sus componentes, puede postularse que los

cambios pronosticados en el clima tendrán efecto de diversa magnitud y sentido en las comunidades y los ecosistemas de la región, los cuales además podrían no manifestarse inmediatamente. Dada la complejidad de los sistemas climáticos y ecológicos, resulta difícil también establecer las relaciones causales de manera contundente. Esto posiciona al hombre en la necesidad categórica de implementar medidas de protección de estos complejos ecosistemas, que tienen un valor multidimensional inequívoco.

En síntesis, el cambio climático que se está manifestando en la actualidad y que es pronosticado para el mediano y largo plazo, afecta y afectará la biodiversidad a diferentes niveles (genético, específico, de ecosistemas y paisajes), directa o indirectamente, produciendo cambios en la estructura y composición de las comunidades biológicas y en los servicios ecosistémicos que la biodiversidad ofrece.

## CONCLUSIONES

La zona costera de Argentina presenta una gran variedad de ambientes a lo largo de toda su extensión, y está expuesta a diferentes fenómenos que remarcan su vulnerabilidad. Esta se da tanto a partir de fenómenos naturales que están variando a lo largo del tiempo (*e.g.* la condición climática) como por el agravamiento que generan algunas obras y/o infraestructura humana localizada en ese ambiente.

Los efectos de aumento del nivel del mar y de aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas parecen ser los factores que representan mayor riesgo para esta zc, considerando la evolución del sistema y los

potenciales cambios que en ese sentido se están registrando.

También hay varias regiones de esta zc afectadas por el proceso de eutroficación, en diferentes grados, y generada por fenómenos naturales y/o antrópicos, y con proyecciones de diferente gravedad que requieren ser intervenidas.

Por último, las modificaciones en algunas variables climáticas (*e.g.* frecuencia e intensidad de las precipitaciones) inducen a cambios sutiles pero continuos en la temperatura, salinidad y pH de los sistemas costeros asociados, lo que conlleva a cambios significativos en su funcionamiento.

A manera de síntesis, la ZC de Argentina se muestra vulnerable a los cambios que se registran en el sistema climático correspondiente. Aun así, es necesario considerar que la evaluación de la vulnerabilidad de la ZC en términos generales debe considerar la influencia del cambio ambiental no climático o cambio socio-económico el cual a menudo sigue siendo una omisión (Nicholls *et al.*, 2008).

Así, políticas de manejo para zonas costeras debería integrar los sistemas natural, socio-cultural y de manejo en interacción, con el fin de proteger la diversidad biológica y de mantener los procesos ecológicos esenciales que dan soporte a los ecosistemas, tal que la evaluación de la vulnerabilidad de la ZC pueda darse en un contexto de desarrollo sostenible.

## LITERATURA CITADA

- Alley, R.B., P.U. Clark, P. Huybrechts, y I. Joughin, 2005. Ice-sheets and sea-level changes. *Science*, 310: 456-460.
- Amin, O.A., L.I. Comoglio, C.V. Spetter, C. Duarte, R.O. Asteasuain, R.H. Freije, y J.E. Marcovecchio, 2011. Assessment of land influence on a high latitude marine coastal system: Tierra del Fuego, southernmost Argentina. *Environmental Monitoring & Assessment*, 175: 63-73.
- Antonioli, F., L. Ferranti, K. Lambeck, S. Kershaw, V. Verrubbi, y G. Dai Pra, 2006. Late Pleistocene to Holocene record of changing uplift rates in southern Calabria and eastern Sicily (southern Italy, Central Mediterranean Sea). *Tectonophysics*, 422: 23-40.
- Antonov, J.I., S. Levitus, y T.P. Boyer, 2002. Steric sea level variations during 1957-1994: importance of salinity. *Journal of Geophysical Research*, 107: 8013.
- Arias, A.H., M.C. Piccolo, C.V. Spetter, R.H. Freije, y J.E. Marcovecchio, 2012. Lessons from multi-decadal oceanographic monitoring at an estuarine ecosystem in Argentina. *International Journal on Environmental Research*, 6 (1): 219-234.
- Arruda, R., P.H.R. Calil, A.A. Bianchi, S.C. Doney, N. Gruber, I. Lima, y G. Turi, 2015. Air-sea CO<sub>2</sub> fluxes and the controls on ocean surface pCO<sub>2</sub> seasonal variability in the coastal and open-ocean southwestern Atlantic Ocean: a modelling study. *Biogeosciences*, 12: 5793-5809.
- Balk, D., A. Storeygard, M. Levy, J. Gaskell, M. Sharma, y R. Flor, 2005. Child hunger in the developing world: An analysis of environmental and social correlates. *Food Policy*, 30: 584-611.
- Barragan Muñoz, J.M., J.R. Dadon, S.D. Matteucci, J.H. Morello, C. Baxendale, y A. Rodríguez, 2003. Preliminary basis for an Integrated Management Program for the Coastal Zone of Argentina. *Coastal Management*, 31: 55-77.
- Barros, V., M. González, B. Liebmann, y I. Camilloni, 2000. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic Sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America. *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 123-133.
- Bartossek, R., G.W. Nicol, A. Lanzen, H.P. Klenk, y C. Schleper, 2010. Homologous of nitrite reductases in ammonia-oxidizing Archaea: Diversity and genomic context. *Environmental Microbiology* 12: 1075-1088.
- Bauer, J.E., W-J. Cai, P.A. Raymond, T.S. Bianchi, C.S. Hopkinson, y P.A.G. Regnie, 2013. The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature*, 504: 61-70.

- Beniash, E., A. Ivanina, N.S. Lieb, I. Kurochkin, y I.M. Sokolova, 2010. Elevated level of carbon dioxide affects metabolism and shell formation in oysters *Crassostrea virginica*. *Marine Ecology Progress Series*, 419: 95-108.
- Berghoff, C.F., V.A. Lutz, V. Segura, D.R. Hernández, A.A. Bianchi, A.P. Osiroff, y D. Molina, 2013. Análisis de las variaciones de la presión parcial de dióxido de carbono (pCO<sub>2</sub>) y la producción primaria en el Mar Argentino. Reporte No.51, INIDEP, Mar del Plata, Argentina, 15 pp.
- Bianchi, A.A., L. Bianucci, A.R. Piola, D. Ruiz-Pino, I. Schloss, A. Poisson, y C.F. Balestrini, 2005. Vertical stratification and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes in the Patagonian shelf. *Journal of Geophysical Research*, 110(C7): 2328.
- Bianchi, A.A., D. Ruiz-Pino, H.G. Isbert Pender, A.P. Osiroff, V. Segura, V. Lutz, M. Luz Clara, C.F. Balestrini, y A.R. Piola, 2009. Annual balance and seasonal variability of sea-air CO<sub>2</sub> fluxes in the Patagonia Sea: Their relationship with fronts and chlorophyll distribution. *Journal of Geophysical Research*, 114 (C3): 1136.
- Bianchi, T.S., 2011. The role of terrestrially derived organic carbon in the coastal ocean: A changing paradigm and the priming effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)*, 109(13):19473-19481.
- Bigatti, G., y P.E. Penchaszadeh, 2008. Invertebrados del Mar Patagónico, diagnóstico de la problemática actual y potencial de su conservación y manejo. En: Estado de conservación del mar patagónico y áreas de influencia. (on-line), Puerto Madryn, Argentina. Edición del Foro, pp. 105-133.
- Bindoff, N., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J.M. Gregory, y S. Gulev, 2007. Observations: ocean climate change and sea level. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M.M.B. Tignor (eds). Cambridge University Press, New York, USA, pp. 385-432.
- Boltovskoy, D., N. Correa, y A. Boltovskoy, 2005. Diversity and endemisms in cold waters of the South Atlantic: contrasting patterns in the plankton and the benthos. *Scientia Marina*, 69: 17-26.
- Boretto, G.M., S. Gordillo, F. Colombo, M. Cioccale, y E. Fucks, 2013. Multi-proxy evidence of late Quaternary environmental changes in the coastal area of Puerto Lobos (Northern Patagonia, Argentina). *Quaternary International*, 305: 188-205.
- Boschi, E.E., y M.B. Cousseau, 2004. La vida entre mareas: vegetales y animales de las costas de Mar del Plata. Publicaciones Especiales INIDEP, Mar del Plata (Argentina), pp.73-86.
- Bowland, J.A., 2006. Climate change: Melting away marine biodiversity in the Canadian Arctic. En: Atlantic Canada marine Biodiversity Essay Content. [http://www.marinebiodiversity.ca/pdfs/Biodiversity\\_Bowland.pdf](http://www.marinebiodiversity.ca/pdfs/Biodiversity_Bowland.pdf)
- Braga, E.S., V.C. Chiozzini, G.B.B. Berbel, J.C.C. Maluf, V.M.C. Aguiar, M. Charo, D. Molina, S.I. Romero, y B.B. Eichler, 2008. Nutrient distributions over the Southwestern South Atlantic continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí (Brazil): Winter-summer aspects. *Continental Shelf Research*, 28 (13): 1649-1661.
- Brooke, J.L., 2014. Climate change and the course of global history: a rough journey. Cambridge University Press, New York, USA. 646 p. ISBN: 978-0-521-87164-8
- Brown, A.C., y A. McLachlan, 2002. Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025. *Environmental Conservation*, 29: 62-77.
- Bustos, M.L., M.C. Piccolo, y G.M.E. Perillo, 2009. Cambios en la geomorfología de la playa de Pehuén Co debido a la actividad de las olas el 26 de julio de 2007. Actas de

- las V Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense, 97-102.
- Butler, D., 2011. Reactors, residents and risk. *Nature*, 474: 36.
- Cai, X., D.C. McKinney, y L.S. Lasdon. 2003. Integrated hydrologic-agronomic-economic model for river basin management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129, 4-17.
- Carranza, A., y M. Rodríguez, 2007. On the benthic mollusks of Banco Inglés (Río de la Plata, Uruguay). *Animal Biodiversity and Conservation*, 30(2): 161-168.
- Carretero, S., J. Rapaglia, H. Bokuniewicz, y E. Kruse, 2013. Impact of sea-level rise on saltwater intrusion length into the coastal aquifer, Partido de La Costa, Argentina. *Continental Shelf Research*, 61-62: 62-70.
- Chiessi, C.M., S. Ulrich, S. Mulitza, J. Pätzold, y G. Wefer, 2007. Signature of the Brazil-Malvinas Confluence (Argentine Basin) in the isotopic composition of planktonic foraminifera from surface sediments. *Marine Micropaleontology*, 64: 52-66.
- Church J.A., T. Aarup, P.L. Woodworth, W.S. Wilson, R.J. Nicholls, R. Rayner, K. Lambeck, G.T. Mitchum, K. Steffen, A. Cazenave, G. Blewitt, J.X. Mitrovica, y J.A. Lowe, 2010a. Sea-level rise and variability: synthesis and outlook for the future. p. 402-419. In: J.A.Church, P.L.Woodworth, T.Aarup & W.S.Wilson (eds). *Understanding sea-level rise and variability*, Wiley-Blackwell Ed., Chichester, UK. ISBN: 978-1-4443-3452-4.
- Church, J.A., D. Roemmich, C.M. Domínguez, J.K. Willis, N.J. White, J.E. Gilson, D. Stammer, A. Köhl, D.P. Chambers, F.W. Landerer, J. Marotzke, J.M. Gregory, T. Suzuki, A. Cazenave. y P-Y. Le Traon, 2010.b. Ocean temperature and salinity contributions to global and regional sea-level change. p.143-176. In: J.A.Church, P.L.Woodworth, T.Aarup & W.S.Wilson (eds), *Understanding sea-level rise and variability*, Wiley-Blackwell Ed., Chichester, UK. ISBN: 978-1-4443-3452-4.
- Cloern, J.E., 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210: 223-253.
- Coates, M., 1998. A comparison of intertidal assemblages on exposed and sheltered tropical and temperate rocky shores. *Global Ecology and Biogeography*, 7: 115-124.
- Codignotto, J.O., W.C. Dragani, P.B. Martin, C.G. Simionato, R.A. Medina, y G. Alonso, 2012. Wind-wave climate change and increasing erosion in the outer Río de la Plata, Argentina. *Continental Shelf Research*, 38: 110-116.
- Commendatore, M.G., y J.L. Esteves, 2007. An assessment of oil pollution in the coastal zone of Patagonia, Argentina. *Environmental Management*, 40: 814-821.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G.R. Askin, P. Sutton, y M. van den Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Covacevich, F., R.I. Silva, A.C. Cumino, G. Caló, R.M. Negri, y G.L. Salerno, 2012. Primeras secuencias de ADNr de *Archea* en aguas costeras de Argentina: Inesperada caracterización por PCR con cebadores eucariotas. *Ciencias Marinas*, 38 (2): 427-439.
- Crutzen, P.J., 2006. The "anthropocene". p. 13-18. In: *Earth system science in the anthropocene*. Springer Berlin Heidelberg.
- Cubitto, M.A., y C.B. Cabezali, 1996. Biodegradation of crude oil by a marine bacterium isolated from Bahía Blanca Estuary, Argentina. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 37: 123-130.
- Cutter, S.L., C.T. Emrich, J.T. Mitchell, B.J. Boruff, M. Gall, M.C. Schmidtlein, C.G. Burton, y G. Melton, 2006. The long road home: race, class, and recovery from Hurricane Katrina. *Environment: Science and Policy for Sus. Development*, 48 (2): 8-20.
- Defeo, O., A. McLachlan, D.S. Schoeman, T.A. Schlacher, J. Dugan, A. Jones, M. Lastra, y

- F. Scapini, 2009. Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81: 1-12.
- Depetris, P.J., J-L. Probst, A.I. Pasquini, y D.M. Gaiero, 2003. The geochemical characteristics of the Paraná River suspended sediment load: an initial assessment. *Hydrological Processes*, 17: 1267-1277.
- Depetris, P.J., D.M. Gaiero, J.L. Probst, J. Hartmann, y S. Kempe, 2005. Biogeochemical output and typology of rivers draining Patagonia's Atlantic seaboard. *Journal of Coastal Research*, 835-844.
- Díaz, A.F., C.D. Studzinski, y C.R. Mechoso, 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *Journal of Climate*, 11: 251-271.
- Diez, P.G., 2007. Tipología de la zona costera de la República Argentina. Tesis Doctoral, Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca (Argentina). 156 p.
- Doney, S.C., V.J. Fabry, R.A. Feely, y J.A. Kleypas, 2009. Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Annual Review of Marine Science*, 1: 69-92.
- Doocy, S., Y. Gorokhovitch, G. Burnham, D. Balk, y C. Robinson, 2007. Tsunami mortality estimates and vulnerability mapping in Aceh, Indonesia. *American Journal of Public Health*, 97: S146-151.
- Dragani, W.C., P.B. Martin, C.G. Simionato, y M.I. Campos, 2010. Are wind wave heights increasing in south-eastern south American continental shelf between 32oS and 40oS?. *Cont. Shelf Res.*, 30: 481-490.
- Durack, P.J., S.E. Wijffels, y R.J. Matear, 2012. Ocean salinities reveal strong global water cycle intensification during 1950 to 2000. *Science*, 336 (6080): 455-458.
- Easterling, D.R., G.A. Meehl, C. Parmesan, S.A. Changnon, T.R. Karl, y L.O. Mearns, 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289: 2068-2074.
- Engle, V.D., y J.K. Summers, 1999. Latitudinal gradients in benthic community composition in Western Atlantic estuaries. *Journal of Biogeography*, 26: 1007-1023.
- Esteves, J.L., N.F. Ciocco, J.C. Colombo, R.H. Freije, G. Harris, O. Iribarne, I. Isla, P. Nabel, M.S. Pascual, P.E. Penchaszadeh, A.L. Rivas, y N. Santinelli, 2000. The Argentine Sea: the Southeast South American shelf marine ecosystem. Ch.48, p. 749-771. In: Seas at the Millenium: an environmental evaluation. Vol.1: Regional Chapters. Europe, The Americas and West Africa, CRC. Sheppard (ed). Pergamon Press, Oxford, UK. ISBN-13: 978-0080432076
- Evans, T.G., y G.E. Hofmann, 2012. Defining the limits of physiological plasticity: how gene expression can assess and predict the consequences of ocean change. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, B 367: 1733-1745.
- Fabry, V.J., B.A. Seibel, R.A. Feely, y J.C. Orr, 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 65: 414-432.
- Feely, R.A., C.L. Sabine, K. Lee, W. Berelson, J. Kleypas, V.J. Fabry, y F.J. Millero, 2004. Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> system in the oceans. *Science*, 305: 362-366.
- Ferrari, M.C.O., M.I. McCormick, P.L. Munday, M.G. Meekan, D.L. Dixon, Ö. Lonnstedt, y D.P. Chivers, 2011. Putting prey and predator into the CO<sub>2</sub> equation – qualitative and quantitative effects of ocean acidification on predator-prey interactions. *Ecology Letters*, 14: 1143-1148.
- Fiore, M.E., E.E. D'Onofrio, J.L. Pousa, E.J. Schnack, y G. Bértola, 2009. Storm surges and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina. *Continental Shelf Research*, 29: 1643-1649.
- Firing, Y.L., y M.A. Merrifield, 2004. Extreme sea level events at Hawaii: the influence of mesoscale eddies. *Geophysical Research Letters*, 31: L24306.



- FitzGerald, D.M., M.S. Fenster, B.A. Argow, y I.V. Buynevich, 2008. Coastal impacts due to sea level rise. *Annual Review on Earth and Planetary Sciences*, 36: 601-647.
- Freije, R.H., y A.M. Gayoso, 1988. Producción primaria del estuario de Bahía Blanca. Informes UNESCO, *Ciencias del Mar*, 7: 112-114.
- Freije, R.H., y J.E. Marcovecchio, 2004. Oceanografía química del estuario de Bahía Blanca. p. 69-78. En: M.C. Piccolo & M.S. Hoffmeyer (eds). El ecosistema del estuario de Bahía Blanca. IADO, Bahía Blanca (Argentina) (ISBN 987-9281-96-9)
- Freije, R.H., C.V. Spetter, J.E. Marcovecchio, C.A. Popovich, S.E. Botté, V.L. Negrín, A.H. Arias, F. Delucchi, y R.O. Astasuain, 2008. Water chemistry and nutrients of the Bahía Blanca Estuary. p. 243-256. In: R. Neves, J. Baretta & M. Mateus (eds). Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America. Part B: From shallow water to the deep fjord: the study sites. IST Scientific Publishers, Lisbon (Portugal).
- Friend, A.D., A.K. Stevens, R.G. Knox, y M.G.R. Cannell, 1997. A process-based, terrestrial biosphere model of ecosystem dynamics (Hybrid v3.0). *Ecological Modelling*, 95: 247-289.
- Fucks, E.E., E.J. Schnack, y M. Charó, 2012. Aspectos geológicos y geomorfológicos del sector norte del Golfo San Matías, Río Negro, Argentina. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 25 (1-2): 95-105.
- Gallardo, C.S., y P.E. Penchaszadeh, 2001. Hatching mode and latitude in marine gastropods: revisiting Thorson's paradigm in the southern hemisphere. *Marine Biology*, 138: 547-552.
- García, M.L., A.J. Jaureguizar & L.C. Protogino, 2010. From fresh water to the slope: fish community ecology in the Río de la Plata and the sea beyond. *Latin American Journal of Aquatic Research* 38(1): 81-94.
- García, V.M.T., C.A.E. García, M.M. Mata, R.C. Pollery, A.R. Piola, S.R. Signorini, y C.R. McClain, 2008. Environmental factors controlling the phytoplankton blooms at the Patagonia shelf-break in spring. *Deep Sea Research Part 1: Oceanographic Research Papers*, 55 (9): 1150-1166.
- Glorioso, P.D., y R.A. Flather, 1995. A barotropic model of the currents off SE South America. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 100 (C7): 13427-13440.
- Godbold, J.A., y M. Solan, 2013. Long-term effects of warming and ocean acidification are modified by seasonal variation in species responses and environmental conditions. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, B 368: 1-11.
- González Silvera, A., E. Santamaria del Angel, y R. Millán Núñez, 2006. Spatial and temporal variability of the Brazil-Malvinas Confluence and the La Plata Plume as seen by SeaWiFS and AVHRR imagery. *Journal of Geophysical Research*, 111: C06010.
- Grimm, A.M., V.R. Barros, y M.E. Doyle, 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 1: 35-58.
- Hallam, A., y P.B. Wignall, 1997. Mass extinctions and their aftermath. Oxford University Press, Oxford, UK. 320 pp. ISBN 0-19-854916-4
- Hansell, D.A., y C.A. Carlson (eds.), 2015. Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter. Academic Press, Elsevier Sci. Imprint, London, U.K., 807 p. ISBN 0-12-323841-2
- Haq, B.U., y S.R. Schutter, 2008. A chronology of Paleozoic sea-level changes. *Science*, 322: 64-68.
- Hay, S.I., C.A. Guerra, P.W. Gething, A.P. Patil, A.J. Tatem, M.A. Noor, C.W. Kabaria, B.H. Manh, I.R.F. Elyazar, S. Brooker, D.L. Smith, R.A. Moyeed, y R.W. Snow, 2009. A World malaria map: Plasmodium falciparum endemicity in 2007. *PLoS Medicine*, 6: e1000048.
- Haylock, M.R., T.C. Peterson, L.M. Alves, T. Ambrizzi, Y.M.T. Anunciação, J. Baez, V.R. Barros, M.A. Berlato, M. Bidegain,

- G. Coronel, V. Corradi, V.J. García, A.M. Grimm, D. Karoly, J.A. Marengo, M.B. Marino, D.F. Moncunill, D. Nechet, J. Quintana, E. Rebello, M. Rusticucci, J.L. Santos, I. Trebejo, y L.A. Vincent, 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19: 1490-1512.
- Hinkel, J., y R.J.T. Klein, 2009. Integrating knowledge to assess coastal vulnerability to sea-level rise: the development of the DIVA tool. *Global Environ. Change*, 19: 384-395.
- Hoegh-Guldberg, O., y J.F. Bruno, 2010. The impact of climate change on the World's marine ecosystems. *Science*, 328: 1523-1528.
- Holligan, P.M., y H. de Boois (eds.), 1993. Land Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ). Science Plan Stockholm: International Geosphere and Biosphere Programme (IGBP), International Council of Scientific Unions, 50 p.
- Hoozemans F.M.J., M. Marchand, y H.A. Pennekamp, 1993. A global vulnerability analysis: vulnerability assessment for population, coastal wetlands and rice production on a global scale, 2nded., Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.
- Huret, M., I. Dadou, F. Dumas, P. Lazure, y V. Garçon, 2005. Coupling physical and biogeochemical processes in the Río de la Plata plume. *Continental Shelf Research*, 25 (5-6): 629-653.
- Iken, K., B., Konar, L. Benedetti-Cecchi, J.J. Cruz-Motta, A. Knowlton, G. Pohle, A. Mead, P. Miloslavich, M. Wong, T. Trott, N. Mieszkowska, R. Riosmena-Rodríguez, L. Airolidi, E. Kimani, Y. Shirayama, S. Frascchetti, M. Ortiz-Touzet, y A. Silva, 2010. Large-scale spatial distribution patterns of echinoderms innearshore rocky habitats. *PLOS ONE*, 5 (11): e13845.
- Imura, H., 2009. Environmental systems studies. A macroscope for understanding and operating spaceship Earth. Springer, Tokyo, Japan, 160 p. ISBN 978-4-431-54125-7
- Instituto Nacional de Estadística y Censos-Argentina (INDEC), 2010. [http://www.indec.gob.ar/nivel4\\_default.asp?id\\_tema\\_1=2&id\\_tema\\_2=41&id\\_tema\\_3=135](http://www.indec.gob.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=2&id_tema_2=41&id_tema_3=135) (consultado el 4/11/16).
- Intergovernmental Pannel on Climate Change (IPCC), 2001. Climate Change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell & C.A. Johnson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 p.
- Intergovernmental Pannel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, R.K. Pachauri & A. Reisinger, eds. IPCC Press, Geneva, Switzerland. 104
- Intergovernmental Pannel on Climate Change (IPCC), 2012. Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. J.J. MacCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken & K.S. White (eds.), Cambridge University Press, New York, USA, 1042 p. ISBN 0 521 80768 9.
- Ito, K., S.F. De Leon, y M. Lippmann, 2005. Associations between ozone and daily mortality analysis and meta-analysis. *Epidemiology*, 16 (4), 446-457.
- Jaureguizar, A.J., R. Menni, C. Lasta, y R. Guerrero, 2006. Fish assemblages of the northern Argentine coastal system: spatial patterns and their temporal variations. *Fisheries Oceanography*, 15 (4): 326-344.
- Joachimski, M.M., X. Lai, S. Shen, H. Jiang, G. Luo, B. Chen, J. Chen, y Y. Sun, 2012. Climate warming in the latest Permian and the Permian–Triassic mass extinction. *Geology*, 40 (3): 195-198.



- Johnson, M.D., V.W. Moriarty, y R.C. Carpenter, 2014. Acclimatization of the crustose coralline alga *Porolithon onkodes* to variable pCO<sub>2</sub>. *PLOS ONE*, 9: e87678.
- Jones A.R., W. Gladstone, y N.J. Hacking, 2007. Australian sandy beach ecosystems and climate change: ecology and management. *Australian Zoologist*, 34: 190-202.
- Kawahata, H., y Y. Awaya (eds.), 2007. Global climate change and response of carbon cycle in the Equatorial Pacific and Indian Oceans and adjacent landmasses. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Oceanography Series 73: 531 p. ISBN-13: 978-0-444-52948-0
- Klein, R.J.T., y R.J. Nicholls, 1999. Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, 28 (2): 182-187.
- Kokot, R.R., 2004. Erosión en la costa patagónica por cambio climático. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (4): 715-726.
- Kroeker, K.J., E. Sanford, B.M. Jellison, y B. Gaylord, 2014. Predicting the effects of ocean acidification on predator-prey interactions: a conceptual framework based on coastal molluscs. *Biology Bulletin*, 226, 211-222.
- Lanfredi, N.W., J.L. Pousa, y E.E. D'Onofrio, 1998. Sea-level rise and related potential hazards on the Argentine coast. *Journal of Coastal Research*, 14 (1): 47-60.
- Lara, R.J., V. Alder, C.A. Franzosi, y G. Kattner, 2010. Characteristics of suspended particulate organic matter in the southwestern Atlantic: Influence of temperature, nutrient and phytoplankton features on the stable isotope signature. *Journal of Marine Systems*, 79: 199-209.
- Levitus, S., J.I. Antonov, T.P. Boyer, O.K. Baranova, H.E. García, R.A. Locarnini, A.V. Mishonov, J.R. Reagan, D. Seidov, E.S. Yarosh, y M.M. Zweng, 2012. World ocean heat content and thermosteric sea level change (0-2000 m), 1955-2010. *Geophysical Research Letters*, 39: L10603.
- Linard, C., y A.J. Tatem, 2012. Large-scale spatial population databases in infectious disease research. *International Journal of Health Geographics*, 11 (7): 1-13.
- London, S., M. Recalde, M. Rojas, M. Zilio, G.M.E. Perillo, M.L. Bustos, M.C. Piccolo, C. Rodriguez, G. Fidalgo, J.C. Pascale, L. Berninsone, M.A. Huamantínco Cisneros, M. del C. Vaquero, y P. Bordino, 2006. Stakeholder vision on social-ecological-system situation in Argentina case study. Community-based management of environmental challenges in Latin America (COMET LA), UNS-IADO-Fundación Aquamarina, Bahía Blanca (Argentina), 38 p.
- Lozada, M., J. Riva Mercadal, L. Guerrero, W. Di Marzio, M. Ferrero, y H.M. Dionisi, 2008. Novel aromatic ring-hydroxylating dioxygenase from coastal marine sediments of Patagonia. *BMC Microbiology*, 8: 50 (13 pp).
- Lozier, M.S., 2010. Deconstructing the Conveyor Belt. *Science*, 328: 1507-1512.
- Lutz, V., E. Boschi, C. Bremec, M.B. Cousseau, D. Figueroa, D.H. Rodríguez, N. Scarlato, M.D. Viñas, M.N. Lewis, P.E. Penchaszadeh, F.H. Acuña, M.L. Aguirre, R. Akselman, V.A. Alder, A. Baldoni, M.S. Barría, R.O. Bastida, A.S. Boraso, J. Calvo, C. Campagna, G. Cañete, M.C. Cassia, P.M. Cervellini, G.E. Chiaramonte, M. Costagliola, G. Cosulich, M.C. Daponte, J.M. Díaz de Astarloa, R. Elías, G.B. Esnal, A.C. Excoffon, R.H. Freije, S. García de la Rosa, G.N. Genzano, D.A. Giberto, R. Guerrero, W. Helbling, M.S. Hoffmeyer, I.S. Incorvaia, O. Iribarne, A.J. Jaureguizar, M. Kogan, G.A. Lovrich, A.O. Madirolas, J.P. Martin, P. Martos, M.L. Mendoza, S. Menu Marque, H.W. Mianzán, E.R. Morriconi, R.M. Negri, S. Obenat, C.T. Pastor de Ward, L.B. Pérez de Fankhauser, F. Quintana, R. Reta, R. Rico, A.M. Roux, M.E. Sabatini, M.A. Scelzo, L. Schejter, A.C.M. Schiavini, R.I. Silva, M.G. Silvo-

- ni, E. Spivak, M.I. Trucco, E.A. Vallarino, y D.G. Zelaya, 2003. Perspectives of marine biodiversity studies in Argentina. *Ga-yana*, 67: 371-382.
- Mackenzie, F.T., L.M. Ver, y A. Lerman, 2000. Coastal-zone biogeochemical dynamics under global warming. *International Geology Review*, 42: 193-206.
- Malvé, M.E., S. Gordillo, y M.M. Rivadeneira, (en prensa) Connecting pH with body size in the marine gastropod *Trophon geversianus* in a latitudinal gradient along the south-western Atlantic coast. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*. En prensa.
- Manríquez, P.H., M.E. Jara, M.L. Mardones, J.M. Navarro, R. Torres, M.A. Lardies, C.A. Vargas, C. Duarte, S. Widdicombe, J. Salisbury, y N.A. Lagos, 2013. Ocean acidification disrupts prey responses to predator cues but not net prey shell growth in *Concholepas concholepas* (loco). *PLOS ONE* 8 (7), e68643 (10 pp)
- Marcovecchio, J.E., 2000. Land-based sources and activities affecting the marine environment at the Upper Southwestern Atlantic Ocean: an overview. *UNEP Regional Seas Reports & Studies N°170*: 67 p.
- Marcovecchio, J.E., y R.H. Freije, 2004. Efectos de la intervención antrópica sobre sistemas marinos costeros: el estuario de Bahía Blanca. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN), Argentina*, 56: 115-132.
- Marshall, J., J.R. Scott, K.C. Armour, J-M. Campin, M. Kelley, y A. Romanou, 2015. The ocean's role in the transient response of climate to abrupt greenhouse gas forcing. *Climate Dynamics*, 44: 2287-2299.
- Martínez, M.L., A. Intralawan, G. Vázquez, O. Pérez-Maqueo, P. Sutton, y R. Landgrave, 2007. The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 63: 254-272.
- Matano, R.P., E.D. Palma, y A.R. Piola, 2010. The influence of the Brazil and Malvinas currents on the Southwestern Atlantic Shelf circulation. *Ocean Science*, 6: 983-995.
- McGranahan G., D. Balk, y B. Anderson, 2007. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19: 17-37.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, y J.M. Gregory, 2007. Global climate projections. p. 747-845. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M.M.B. Tignor (eds). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, New York, USA.
- Miloslavich, P., E. Klein, J.M. Díaz, C.E. Hernández, G. Bigatti, L. Campos, F. Artigas, J. Castillo, P.E. Penchaszadeh, P.E. Neill, A. Carranza, M.V. Retana, J.M. Díaz de Astarloa, M. Lewis, P. Yorio, M.L. Piriz, D. Rodriguez, Y. Yoneshigue-Valentin, L. Gamboa, y A. Martín, 2011. Marine biodiversity in the Atlantic and Pacific coasts of South America: Knowledge and gaps. *PLOS ONE*, 6 (1): e 14631 (43 pp).
- Mimura, N., 2000. Distribution of vulnerability and adaptation in the Asia and Pacific Region. *Proceedings of the APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference on the Coastal Impacts of Climate Change and Adaptation in the Asia - Pacific Region*, APN and Ibaraki University, Ibaraki, Japan. pp. 21-25.
- Mitchum, G.T., R.S. Nerem, M.A. Merrifield, y W.R. Gehrels, 2010. Modern sea-level change estimates. p. 122-142. In: J.A. Church, P.L. Woodworth, T. Aarup & W.S. Wilson (eds). *Understanding sea-level rise and variability*. Wiley-Blackwell Publishing Ltd., Chichester, UK. ISBN 978-1-4443-3451-7.
- Mittelbach, G.G., D.W. Schemske, H.V. Cornell, A.P. Allen, J.M. Brown, M.B. Bush, S.P. Harrison, A.H. Hurlbert, N. Knowlton, H.A. Lessios, C.M. McCain, A.R.

- McCune, L.A. McDade, M.A. McPeck, T.J. Near, T.D. Price, R.E. Ricklefs, K. Roy, D.F. Sax, D. Schluter, J.M. Sobel, y M. Turelli, 2007. Evolution and the latitudinal diversity gradient: speciation, extinction and biogeography. *Ecology Letters*, 10, 315-331.
- Mondal, P., y A.J. Tatem, 2012. Uncertainties in measuring populations potentially impacted by sea-level rise and coastal flooding. *PLOS ONE*, 7 (10): e48191.
- Mora, C., C-L. Wei, A. Rollo, T. Amaro, A.R. Baco, D. Billett, L. Bopp, Q. Chen, M. Collier, R. Danovaro, A.J. Gooday, B.M. Grupe, P.R. Halloran, J. Ingels, D.O.B. Jones, L.A. Levin, H. Nakano, K. Norling, E. Ramírez-Llodra, M. Rex, H.A. Ruhl, C.R. Smith, A.K. Sweetman, A.R. Thurber, J.F. Tjiputra, P. Usseglio, L. Watling, T. Wu, y M. Yasuhara, 2013. Biotic and human vulnerability to projected changes in ocean biogeochemistry over the 21st Century. *PLOS ONE*, Biology 11: e1001682.
- Nagy, G.J., M. Gómez-Erache, C.H. López, y A.C. Perdomo, 2008. Distribution patterns of nutrients and symptoms of eutrophication in the Rio de la Plata River Estuary System. p. 125-139. In: E. Orive, M. Elliott & V.N. de Jonge (eds). *Nutrients and Eutrophication in Estuaries and Coastal Waters. Developments in Hydrobiology*, Springer Netherlands, Amsterdam, Netherlands. ISBN 978-90-481-6123-2.
- Negri, R.M., H.R. Benavides, y R. Akselman, 2004. Algas del litoral marplatense. p. 73-86. En: E. Orive, M. Elliott & V.N. de Jonge (eds). *La vida entre mareas: vegetales y animales de las costas de Mar del Plata*. Publicaciones Especiales INIDEP.
- Nicholls, R.J., 2004. Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio - economic scenarios. *Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions*, 14: 69-86.
- Nicholls, R.J., 2010. Impact of and responses to sea-level rise. p. 17-51. In: J.A. Church, P.L. Woodworth, T. Aarup & W.S. Wilson (eds). *Understanding sea-level rise and variability*. Wiley-Blackwell Publishing Ltd., Chichester, UK. ISBN 978-1-4443-3451-7
- Nicholls, R.J., y A. Cazenave, 2010. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science*, 328: 1517-1521.
- Nicholls, R.J., P.P. Wong, V. Burkett, C.D. Woodroffe, y J. Hay, 2008. Climate change and coastal vulnerability assessment: cenarios for integrated assessment. *Sustainable Science*, 3: 89-102.
- Nixon, S.W., 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41: 199-219.
- O'Hara, T.D., 2002. Endemism, rarity and vulnerability of marine species along a temperature coastline. *Invertebrate Systematics*, 16: 671-684.
- Orensanz (Lobo) J.M., E. Schwindt, G. Pastorino, A. Bortolus, G. Casas, G. Darrigran, R. Elías, J.J. López Gappa, S. Obenat, M. Pascual, P. Penchaszadeh, M.L. Piriz, F. Scarabino, E.D. Spivak, y E.A. Vallarino, 2002. No longer the pristine confines of the world ocean: a survey of exotic marine species in the southwestern Atlantic. *Biological Invasions*, 4: 115-143.
- Otto-Bliesner, B.L., S.J. Marshall, J.T. Overpeck, G.H. Miller, A. Hu, y CAPE Last Interglacial Project Members, 2006. Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the last interglaciation. *Science*, 311: 1751-1753.
- Overpeck, J.T., B.L. Otto-Bliesner, G.H. Miller, D.R. Muehls, R.B. Alley, y J.T. Kiehl, 2006. Paleoclimatic evidence for future ice-sheet instability and rapid sea-level rise. *Science*, 311: 1747-1750.
- Paerl, H.W., N.S. Hall, B.L. Peierls, y K.L. Rossignol, 2014. Evolving Paradigms and Challenges in Estuarine and Coastal Eutrophication Dynamics in a Culturally and Climatically Stressed World. *Estuaries and Coasts*, 37 (2): 243-258.
- Paparazzo, F.E., L. Bianucci, I.R. Schloss, G.O. Almandoz, M. Solís, y J.L. Esteves, 2010.

- Cross-frontal distribution of inorganic nutrients and chlorophyll-a on the Patagonian Continental Shelf of Argentina during summer and fall. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45(1): 107-119.
- Pappenberger, F., E. Dutra, F. Wetterhall, y H.L. Cloke, 2012. Deriving global flood hazard maps of fluvial floods through a physical model cascade. *Hydrology & Earth System Sciences*, 16: 4143-4156.
- Penchaszadeh, P.E., D. Boltovskoy, M. Borges, D. Cataldo, C. Damborenea, G. Darrigran, S. Obenat, G. Pastorino, E. Schwindt, E. Spivak, y F. Sylvester, 2005. Invasores. Invertebrados exóticos en el Río de la Plata y región marina aledaña. Editorial Universitaria de Buenos Aires (Eudeba), Buenos Aires (Argentina, 377 p.
- Perillo, G.M.E. (ed.), 1997. Evaluación de la vulnerabilidad de la costa argentina al ascenso del nivel del mar. PNUD/SECYT ARG/95/G/31. 62 p.
- Perillo, G.M.E., M.C. Piccolo, y J.E. Marcovecchio. 2006. Coastal oceanography of the western south Atlantic continental shelf (33° to 55°S). p. 295-327. In: A.R. Robinson, K.H. Brink (eds). *The Sea. The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA. (ISBN- 0-674-01527-4)
- Piccolo, M.C., 1998. Oceanography of the Western South Atlantic continental shelf from 33oS to 55oS. p. 253-271. In: A.R. Robinson, K.H. Brink (eds.). *The Sea. Coastal Oceanography*. John Wiley & Sons. (ISBN-9-780-47111-5-458)
- Piola, A.R., E.J.D. Campos. O.O. Möller Jr., M. Charo, y C. Martinez, 2000. Subtropical shelf front off eastern South America. *Journal of Geophysical Research*, 105: 6565-6578.
- Pisoni, J.P., A.L. Rivas, y A.R. Piola, 2015. On the variability of tidal fronts on a macrotidal continental shelf, Northern Patagonia, Argentina. *Deep Sea Research Part II. Topical Studies in Oceanography*, 119: 61-68.
- Pizarro, H., P. Rodríguez, S.M. Bonaventura, I. O'Farrell, y I. Izaguirre, 2007. The sudestadas: a hydro-meteorological phenomenon that affects river pollution (River Luján, South America). *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 52 (4): 702-712.
- Poloczanska, E.S., C.J. Brown, W.J. Sydeman, W. Kiessling, D.S. Schoeman, P.J. Moore, K. Brander, J.F. Bruno, L.B. Buckley, M.T. Burrows, C.M. Duarte, B.S. Halpern, J. Holding, C.V. Kappel, M.I. O'Connor, J.M. Pandolfi, C. Parmesan, F. Schwing, S.A. Thompson, y A.J. Richardson, 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, advance online publication (published 4/agosto/2013). 7 p.
- Popovich, C.A., y J.E. Marcovecchio, 2008. Spatial and temporal variability of phytoplankton and environmental factors in a temperate estuary of South América (Atlantic Coast, Argentina). *Continental Shelf Research*, 28: 236-244.
- Popovich, C.A., C.V. Spetter, J.E. Marcovecchio, y R.H. Freije, 2008. Dissolved nutrients availability during winter diatom bloom in a turbid and shallow estuary (Bahía Blanca, Argentina). *Journal of Coastal Research*, 24 (1): 95-102.
- Pörtner, H.O., y M. Langenbuch, 2005. Synergistic effects of temperature extremes, hypoxia, and increases in CO2 on marine animals: from Earth history to global change. *Journal of Geophysical Research*, 110: C09S10.
- Pousa J., E. Kruse, E. Carol, S. Carretero, y D. Guaraglia, 2011. Interrelation between coastal processes, surface water and groundwater at the outer coastal region of the Rio de la Plata Estuary, Argentina. p. 67-96. In: J.A. Daniels (ed.). *Advances in Environmental Research*. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, USA.
- Pratolongo, P., G. Salinero, y G.M.E. Perillo, 2006. Evolución de la línea de costa frente al balneario Pehuén Co, Pcia. de Buenos

- Aires, entre los años 1969 y 1996. VI Jornadas de Ciencias del Mar, Puerto Madryn (Argentina). Resumen.
- Purkey, S.G., y C.G. Johnson, 2010. Warming of global abyssal and deep Southern Ocean waters between the 1990s and 2000s: contributions to global heat and sea level rise budgets. *Jou. of Climate*, 23: 6336-6351.
- Quirós, R., 1988. Relationships between air temperature, depth, nutrients and chlorophyll in 103 Argentinian lakes. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 23(2): 647-658.
- Rabalais, N. N., 2004. Eutrophication. p. 819-865. In: A.R. Robinson, J. McCarthy & B.J. Rothschild (eds.). *The Global Coastal Ocean: Multiscale Interdisciplinary Processes*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.
- Rabalais, N.N., R.E. Turner, R.J. Díaz, y D. Justić, 2009. Global change and eutrophication of coastal waters. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 66 (7): 1528-1537.
- Rex, M.A., C.T. Stuart, R.R. Hessler, J.A. Allen, H.L. Sanders, y G.D.F. Wilson, 1993. Global-scale latitudinal patterns of species diversity in the deep-sea benthos. *Nature*, 365: 636-639.
- Richardson, A.J., y D.S. Schoeman, 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, 305: 1609-1612.
- Rignot, E., A. Rivera, y G. Casassa, 2003. Contribution of the Patagonia icefields of South America to sea level rise. *Science*, 302: 343-437.
- Rohling E.J., K. Grant, C.H. Hemleben, M. Siddall, B.A.A. Hoogakker, M. Bolshaw, y M. Kucera, 2008. High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience*, 1: 38-42.
- Rosenzweig, M.L., 1995. Species diversity in space and time. Cambridge University Press, Cambridge (UK). 436 p.
- Roy, K., D. Jablonski, J.W. Valentine, y G. Rosenberg, 1998. Marine latitudinal diversity gradients: tests of causal hypotheses. *Proceedings of the National Academic of Sciences USA (PNAS)*, 95: 3699-3702.
- Rusticucci, M., y O. Penalba, 2000. Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. *Climate Research*, 16: 1-15.
- Rusticucci, M.M., S.A. Venegas, y W.M. Vargas, 2003. Warm and cold events in Argentina and their relationship with South Atlantic and South Pacific Sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research*, 108 (C 11): 3356-366.
- Sabine, C.L., M. Heimann, P. Artaxo, D.C.E. Bakker, C.-T.A. Chen, C.B. Field, N. Gruber, C. Le Quéré, R.G. Prinn, J.E. Richey, P. Romero Lankao, J.A. Sathaye, y R. Valentini, 2004. Current status and past trends of the global carbon cycle. p. 17-44. In: C.B. Field & M.R. Raupach (eds.). *The global carbon cycle: Integrating humans, climate, and the natural world*. Island Press, Washington DC, USA.
- Sachs, J.D., A.D. Mellinger, y J.L. Gallup, 2001. The geography of poverty and wealth. *Scientific American*, 284: 70-75.
- Sala, O., F. Stuar Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N. LeRoy Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker, y D.H. Wall, 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- Sarmiento, J.L., T.M.C. Hughes, R.J. Stouffer, y S. Manabe, 1998. Simulated response of the ocean carbon cycle to anthropogenic climate warming. *Nature* 393: 245-249.
- Scavia, D., J.C. Field, D.F. Boesch, R.W. Buddemeier, V. Burkett, D.R. Cayan, M. Fogarty, M.A. Harwell, R.W. Howarth, C. Mason, D.J. Reed, T.C. Royer, A.H. Sallenger, y J.G. Titus, 2002. Climate Change Impacts on us. *Coastal and Marine Ecosystems. Estuaries*, 25 (2): 149-164.



- Schnack, E., J. Pousa, G. Bértola, y F. Isla, 2010. Argentina. p. 219-225. In: B.J. Bird (ed). *The Encyclopaedia of World's Coastal Landforms*. Springer, Berlin, Germany. ISBN 978-1-4020-8639-7
- Schulte, P., L. Alegret, I. Arenillas, J.A. Arz, P.J. Barton, P.R. Bown, T.J. Bralower, G.L. Christeson, P. Claeys, C.S. Cockell, G.S. Collins, A. Deutsch, T.J. Goldin, K. Goto, J.M. Grajales-Nishimura, R.A.F. Grieve, S.P.S. Gulick, K.R. Johnson, W. Kiessling, C. Koeberl, D.A. Kring, K.G. MacLeod, T. Matsui, J. Melosh, A. Montanari, J.V. Morgan, C.R. Neal, D.J. Nichols, R.D. Norris, E. Pierazzo, G. Ravizza, M. Rebolledo-Vieyra, W.U. Reimold, E. Robin, T. Salge, R.P. Speijer, A.R. Sweet, J. Urrutia-Fucugauchi, V. Vajda, M.T. Whalen, y P.S. Willumsen, 2010. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science* 327: 1214-1218.
- Schwindt, E., 2008. Especies exóticas en el Mar Patagónico y sectores adyacentes. p. 274-302. En: Estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia. Puerto Madryn (Argentina), Edición del Foro.
- Shakun, J.D., P.U. Clark, F. He, S.A. Marcott, A.C. Mix, Z. Liu, B. Otto-Bliesner, A. Schmittner, y E. Bard, 2012. Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature*, 484: 49-54.
- Shepard, C.C., V.N. Agostini, B. Gilmer, T. Allen, J. Stone, W. Brooks, y M.W. Beck, 2012. Assessing future risk: quantifying the effects of sea level rise on storm surge risk for the southern shores of Long Island, New York. *Natural Hazards*, 60: 727-745.
- Small, C., y R.J. Nicholls, 2003. A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones. *Journal of Coastal Research*, 19 (3): 584-599.
- Smith, S.V., D.P. Swaney, L. Talaue-McManus, J.D. Bartley, P.T. Sandhei, C.J. McLaughlin, V.C. Dupra, C.J. Crossland, R.W. Buddemeier, B.A. Maxwell, y F. Wulff, 2003. Humans, hydrology, and the distribution of inorganic nutrient loading to the ocean. *BioScience*, 53 (3): 235-245.
- Spetter, C.V., C.A. Popovich, A.H. Arias, R.O. Asteasuain, R.H. Freije, y J.E. Marcovecchio, 2015. Role of nutrients in the phytoplankton development during a winter diatom bloom in an eutrophic South American Estuary (Bahía Blanca, Argentina). *Journal of Coastal Research*, 31 (1): 76-87.
- Steffen, K., R.H. Thomas, E. Rignot, J.G. Cogley, M.B. Dyurgerov, S.C.B. Raper, P. Huybrechts, y E. Hanna, 2010. Cryospheric contributions to sea-level rise and variability. p. 177-225. In: J.A. Church, P.L. Woodworth, T. Aarup & W.S. Wilson (eds). *Understanding sea-level rise and variability*. Wiley-Blackwell Ed., Chichester, uk. ISBN: 978-1-4443-3452-4.
- Sullivan Sealey, K., y G. Bustamante, 1999. Setting geographic priorities for marine conservation in Latin American and the Caribbean. *The Nature Conservancy*, Arlington (VA, USA) 141: 125 pp.
- Tol, R.S.J., R.J.T. Klein, y R.J. Nicholls, 2008. Towards successful adaptation to sea-level rise along Europe's coasts. *Journal of Coastal Research* 24 (2): 432-450.
- Thompson, L.G., E. Mosley-Thompson, H. Brecher, M. Davis, B. León, D. Les, P.-N. Lin, T. Mashiotta, y K. Mountain. 2006. Abrupt tropical climate change: past and present. *Proceedings of the National Academy of Sciences -PNAS-* 103 (28): 10536-10543.
- Tittensor, D.P., C. Mora, W. Jetz, H.K. Lotze, D. Ricard, E. Vanden Bergh, y B. Worm, 2010. Global patterns and predictions of marine biodiversity across taxa. *Nature*, 466: 1098-1101.
- Torres, A.I., M.N. Gil, O.A. Amín, y J.L. Esteves, 2009. Environmental characterization of a eutrophicated semi-enclosed system: nutrient budget (Encerrada Bay, Tierra del Fuego Island, Patagonia, Argentina). *Water, Air & Soil Pollution* 204 (1): 259-270.

- Trotter, J.A., I.S. Williams, C.R. Barnes, C. Lécuyer, y R.S. Nicol, 2008. Did cooling oceans trigger Ordovician biodiversification? Evidence from Conodont thermometry. *Science*, 321: 550-555.
- Turner, R.K., S. Subak, y W.N. Adger. 1996. Pressures, Trends, and Impacts in Coastal Interactions Between Socioeconomic and Natural Systems. *Environmental Management*, 20 (2): 159-173.
- van den Brink, H.W., G.P. Können, J.D. Opsteegh, G.J. van Oldenborgh, y G. Burgers, 2005. Estimating return periods of extreme events from ECMWF seasonal forecast ensembles. *International Journal of Climatology*, 25: 1345-1354.
- Vázquez Botello A. (coord.)., 2008. Evaluación de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos. Informe final INE/AI-051/2008, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Autónoma de México (UNAM). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT . 121 p.
- Villafañe, V.E., M.S. Valiñas, M.J. Cabrerizo, y E.W. Helbling, 2015. Physio-ecological responses of Patagonian coastal marine phytoplankton in a scenario of global change: role of acidification, nutrients and solar UVR. *Marine Chemistry*, 177, 411-420.
- Vincent, L.A., E. Ramírez, L. Molion, J. Baez, T.C. Peterson, L.M. Alves, D.F. Moncunill, G. Coronel, V.R. Barros, T. Ambrizzi, E. Rebello, J. García, I. Trebejo, M.B. Marino, M.A. Merlato, M. Rusticucci, A.M. Grimm, Y.M.T. Anunciação, M. Bidegain, G. Carrasco, J.A. Marengo, J. Quintana, M.R. Haylock, J.L. Santos, y D. Karoly, 2005. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, 18: 5011-5023.
- Violante, R.A., C.M. Paterlini, S.I. Marcolini, I.P. Costa, J.L. Cavallotto, C. Laprida, W. Dragani, N. García Chapori, S. Watanabe, V. Totah, E.I. Rovere, y M.L. Osterrieth. 2014. The Argentine continental shelf: morphology, sediments, processes and evolution since the Last Glacial Maximum. *Geological Society, London, Memoirs*, 41 (1): 55-68.
- Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco & J.M. Melillo. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 277 (5325): 494-499.
- Wadhams, P., y W. Munk, 2004. Ocean freshening, sea level rising, sea ice melting. *Geophysical Research Letters*, 31, L11311.
- Wakelin, S.L., P.L. Woodworth, R.A. Flather, y J.A. Williams, 2003. Sea-level dependence on the NAO over the NW European Continental Shelf. *Geophysical Research Letters*, 30 (7): 1403-1407.
- Walther, G.-R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg, y F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389-395.
- Watson, R.T., M.C. Zinyoera & R.H. Moss. 1998. The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. A Special Report of ipcc Working Group II. Cambridge University Press, NY, USA. 85 p.
- Widdicombe, S., y J.I. Spicer, 2008. Predicting the impact of ocean acidification on benthic biodiversity: What can animal physiology tell us? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366: 187-197.
- Wilf, P., K.R. Johnson, y B.T. Hube, 2003. Correlated terrestrial and marine evidence for global climate changes before mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Proceedings of the National Academy of Sciences -PNAS-* 100 (2): 599-604.
- Williams, R.G., y M.J. Follows, eds., 2011. Ocean dynamics and the carbon cycle: principles and mechanisms. Cambridge University Press, New York, USA, 434 p. ISBN 978-0-521-84369-0



Yin, J-J., S.M. Griffies, y R.J. Stouffer, 2010.  
Spatial variability of sea level rise in Twenty-First Century projections. *Journal of Climate*, 23: 4585-4607.