

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

1. La vulnerabilidad costera: elementos para la construcción de su resiliencia	1
Evelia Rivera-Arriaga	
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	29
Guadalupe de la Lanza Espino, José Luis Carbajal Pérez y Salvador Hernández Pulido	
3. Agua Antártica Intermedia en el golfo de México, indicativo del cambio climático (2017)	55
Alberto Mariano Vázquez de la Cerda	
4. El cambio del nivel del mar y eventos extremos en el Pacífico mexicano	85
Ernesto Caetano, Luís Marton, Valdir Innocentini, Christian Domínguez, Arturo Caracas y Luis Galván	
5. Cambio de uso de suelo en la zona litoral entre Ciudad del Carmen y Sabancuy en el estado de Campeche, México	105
Eduardo López-González, Antonio Z. Márquez-García y Alma D. Toledo-Guzmán	
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	117
Verenice Escamilla-Rivera, Sergio Cortina-Villar & Jordi Honey-Rosés	

7. Evaluación del riesgo de erosión en ciudades costeras de la provincia de Buenos Aires (Argentina)	133
M. Luján Bustos, M.Cintia Piccolo y Gerardo M. E. Perillo	
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	149
Franklin Torres-Bejarano y César Torres Marchena	
9. Tendencias del nivel medio del mar en el litoral del Pacífico Sur Oriental	165
Manuel Contreras-López, Jimmy Cevallos y Ricardo Torres	
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	177
Ena E. Mata-Zayas, Lilly Gama, Cesar Vazquez-Navarrete, Hilda Diaz Lopez, José Manuel Figueroa Maheng y Joaquín Rincón Ramirez	
11. Erosión costera y cambio climático en las costas del municipio de Salina Cruz, Oaxaca	205
Vicente Torres Rodríguez, Andrea Bolongaro Crevenna Recasens y Antonio Zoilo Márquez García	
12. Vulnerabilidad de humedales y dunas litorales en Chile central	227
Manuel Contreras-López, Rodrigo Figueroa-Sterquel, Julio Salcedo-Castro, Hernán Vergara-Cortés, Carlos Zuleta, Víctor Bravo, César Piñones, y Fernanda Cortés-Molina	
13. La zona costera de Argentina en un escenario de cambios climáticos: vulnerabilidad, perspectivas y tendencias	247
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
Crispulo Marrero y Douglas Rodríguez-Olarte	

22

Vulnerabilidad de los ecosistemas bentónicos y pelágicos del Atlántico Sur al cambio climático

Melisa D Fernández Severini¹, Natalia S Buzzi^{1,2},
Florescia Biancalana¹, M. Sofía Dutto¹, Anabela A. Berasategui¹,
Ana C. Ronda^{1,2}, y Jorge E. Marcovecchio^{1,3,4}

¹INSTITUTO ARGENTINO DE OCEANOGRAFÍA ARGENTINA

²UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR, ARGENTINA

³UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, ARGENTINA

⁴UNIVERSIDAD FASTA, ARGENTINA

e-mail: melisafs@criba.edu.ar

RESUMEN

El presente capítulo comprende los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas bentónicos y pelágicos en del Atlántico Sur. Particularmente se destaca la región patagónica de Argentina ya que la mayoría de los trabajos se focalizan en dicha zona por su proximidad al área Antártica. Los mismos abarcan estudios sobre cambios en la fisiología, fenología, reproducción así como también cambios en la distribución espacial producto de la Radiación UV (RUV), la temperatura, el efecto conjunto de ambos y la acidificación. En este contexto de cambio climático, diversos estudios en plancton, bentos y peces demostraron notables cambios en cuanto a tamaño celular, distribución y densidad poblacional; además de incorporación de estrategias y mecanismos fisiológicos para prevenir y reparar los daños inducidos por RUV. La temperatura ha demostrado ser otro de los factores

Fernández Severini, M.D., N.S. Buzzi, F. Biancalana, M.S. Dutto, A.A. Berasategui, A.C. Ronda, y J.E. Marcovecchio, 2017. Vulnerabilidad de los ecosistemas bentónicos y pelágicos del atlántico sur al cambio. p. 435-448. 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.

más influyente sobre los organismos. En este sentido, se han observado notables cambios tanto en el fitoplancton como en el zooplancton relacionados con la composición y distribución, así como también aquellos involucrados con las estrategias de reproducción como es el caso de las medusas, ciertos peces y organismos bentónicos. El efecto conjunto de estos parámetros también ha sido mencionado en algunos trabajos; particularmente en organismos planctónicos se han observado efectos en cuanto al tamaño celular, a las tasas fotosintéticas y sobre la fenología. Además algunas especies zooplanctónicas han presentado modificaciones en cuanto a la tolerancia a la RUV, aumentándose ante temperaturas elevadas. En relación a los procesos de acidificación en los océanos, algunos estudios en gasterópodos demuestran que la variación espacial en el tamaño corporal está relacionado con la variación del pH del océano. A modo de conclusión final, si bien en Argentina los estudios son escasos se han detectado notables cambios visiblemente asociados a los efectos del cambio climático regional y global que ponen en situación de vulnerabilidad a los ecosistemas pelágicos y bentónicos del Atlántico Sur.

Palabras clave: cambio climático, vulnerabilidad, plancton, bentos, Atlántico Sur.

ABSTRACT

This chapter addresses the effects that climate change has on benthic and pelagic ecosystems in the south Atlantic. The Patagonian region in Argentina particularly stands out since most works are focused there thanks to its proximity to the Antarctic area. These works include studies on changes in physiology, phenology and reproduction, as well as changes in spatial distribution due to UV radiation, temperature, the combined effect of both, and acidification. In this context of climate change, diverse studies of plankton, benthos and fish have proven noticeable changes in cell size, and population distribution and density, in addition to the incorporation of strategies and physiological mechanisms to prevent and repair damage caused by UV rays. Temperature has proven to be another of the most influential factors on organisms. In this sense, noticeable changes related to composition and distribution have been observed in both phytoplankton and zooplankton, along with changes involved in reproductive strategies in the case of jellyfish, certain fishes, and benthic organisms. The joint effect of these parameters has also been mentioned in several works; particularly in planktonic organisms, effects upon cell size, photosynthetic rates and phenology have been observed. Additionally, several zooplanktonic species have presented modifications related to tolerance of UV rays, which increases when faced with high temperatures. Concerning oceanic acidification processes, several studies on gastropods show that there is a connection between spatial variation in body size and pH variation within the ocean. In conclusion, although studies do not abound in Argentina, noticeable changes visibly associated to the effects of regional and global climate change have been detected, and these place south Atlantic pelagic and benthic ecosystems into a vulnerable situation.

Key words: Climate change, vulnerability, plankton, benthos, South Atlantic.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático en los sistemas marinos puede afectar a una variedad de propiedades físico-químicas (Hoegh-Guldberg y Bruno, 2010) con efectos sobre la fisiolo-

gía, fenología, adaptación y distribución de especies (Brierley y Kingsford, 2009; IPCC, 2014), influenciando directa o indirectamente los ecosistemas bentónicos y

pelágicos marinos. Entre las variables climáticas podemos mencionar los cambios en las temperaturas del aire y del agua, radiación ultravioleta, acidificación, precipitación, salinidad, circulación y mezcla de los océanos, flujo de los ríos y niveles de nutrientes entre otros. Estos procesos pueden resultar en la modificación de las estructuras comunitarias y los patrones de diversidad (Doney *et al.*, 2012), causada por la intolerancia fisiológica de las especies a las nuevas condiciones, patrones de dispersión alterados y cambios en las interacciones entre especies provocando repercusiones en los flujos biogeoquímicos y el funcionamiento del ecosistema (figura 1).

Aunque los efectos del cambio climático a menudo se evalúan a escala mundial, los cambios regionales, pueden ser más relevantes en el contexto de la respuesta ecológica de las especies y comunidades de un determinado lugar al calentamiento climático (Walther *et al.*, 2002). Particularmente en Argentina son pocos los estudios relacionados con el cambio climático y la mayoría de los mismos provienen de la región patagónica debido a la cercanía con la Antártida donde en las últimas dos décadas la pérdida de ozono estratosférico ha sido masiva. A su vez, estos trabajos corresponden en general a las zonas costeras.

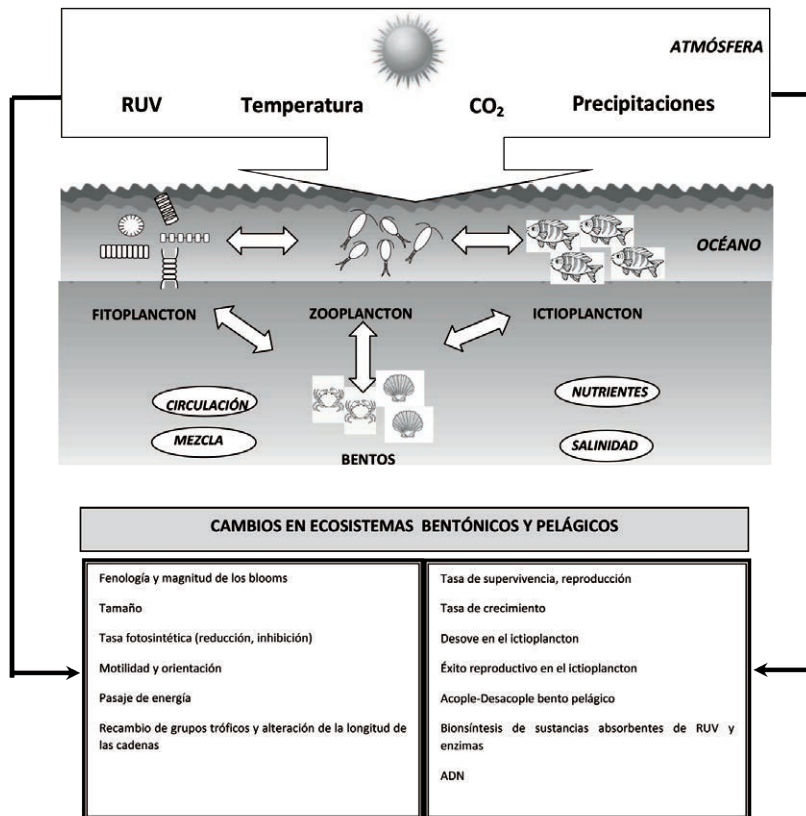


Figura 1. Esquema de las principales modificaciones en los ecosistemas bentónicos y pelágicos causados por el cambio climático.

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (RUV)

La RUV afecta todos los niveles tróficos dentro del plancton principalmente por su acción mutagénica (Buma *et al.*, 2003), la cual altera estructuras biomoleculares, procesos metabólicos y fisiológicos (Sobrino *et al.*, 2004; Bouchard *et al.*, 2005). En los metazoos, la RUV puede ser un factor estresante afectando la supervivencia y/o generando efectos subletales que se traducen en cambios en la locomoción, la reproducción y la alimentación. Además, muchos organismos poseen estrategias y mecanismos fisiológicos para prevenir y reparar los daños inducidos por RUV incluyendo biosíntesis de sustancias absorbentes de UV, mecanismos de reparación del ADN y enzimas que reducen el estrés foto-oxidativo (Hoyer *et al.*, 2001; Gonçalves *et al.*, 2010).

Los organismos planctónicos son buenos objetos de estudio para evaluar los efectos de la RUV, debido a su corto ciclo de vida y su importancia dentro de la trama trófica acuática. La RUV natural afecta de manera significativa las asociaciones fitoplanctónicas durante las tres fases de la sucesión anual: 1) pre-bloom 2) bloom y 3) post-bloom. En las fases 1 y 3, las células son pequeñas y tienen una inhibición fotosintética relativamente alta debido a que en primavera/verano las temperaturas son más altas. Además, estas células son más resistentes a la RUV probablemente debido a una cinética de adaptación más rápida pero son más vulnerables a los daños en el ADN. Durante el bloom, la inhibición fotosintética es menor ya que la RUV en invierno es menor (Villafañe *et al.*, 2004a; Helbling *et al.*, 2005) por lo tanto, la eficiencia fotosintética se deprime cuando se expone a niveles moderados/altos de radiación solar (Villafañe *et al.*, 2003). Villafañe *et*

al. (2004b) observaron que la RUV-A causó mayor inhibición fotosintética que la UV-B en organismos fitoplanctónicos de la Patagonia. Además, en el otoño/invierno las bajas velocidades del viento junto con concentraciones de nutrientes relativamente altas y la baja profundidad de la capa superior de mezcla favorecen el desarrollo de diatomeas, siendo estas agrupaciones las que podrían ser más afectadas por los niveles naturales de RUV. Por otro lado, Barbieri *et al.* (2002) observaron mayores tasas de fotosíntesis en algunas especies de fitoplancton en zonas templadas expuestas a RUV + PAR (radiación fotosintéticamente activa) que aquellas expuestas sólo a PAR, lo que sugirió un uso beneficioso de RUV, especialmente con irradiancia PAR baja. En general, los efectos de la RUV sobre la fijación de carbono muestran un alto componente de especificidad, siendo más alto durante el bloom que en aquellas especies que caracterizan el pre y post-bloom en los ecosistemas estuarinos templados de la Patagonia (Villafañe *et al.*, 2004a).

Las respuestas del plancton a la RUV también dependen del tamaño celular ya que en organismos de menor tamaño como el nanoplancton (2–20 µm) la inhibición fotosintética resultó menor que en el microplancton (20–200 µm) (Helbling *et al.*, 2001) tal vez porque tienen una cinética de aclimatación rápida debido a su alta relación superficie/volumen. Por el contrario, las células pico-nanoplanctónicas son generalmente más vulnerables al daño al ADN que a la inhibición fotosintética (Buma *et al.*, 2001; Helbling *et al.*, 2001). Los resultados debido a mutaciones en el ADN son típicamente dímeros de pirimidina de ciclobutano (DPC) (Buma *et al.*, 2003;

Gonçalves *et al.*, 2010). Estas mutaciones se traducen en reducciones en el crecimiento y en las tasas fotosintéticas (Buma *et al.*, 2003), y se ha demostrado una disminución en el rendimiento general en diferentes organismos (Helbling *et al.*, 2001; Visser *et al.*, 2002; Connelly *et al.*, 2009). Además, estudios de Buma *et al.* (2001) y Helbling *et al.* (2001) en la Patagonia, revelaron que el pico-nanoplancton durante el post-bloom presentó daños en el ADN medidos en DPC acumulado cuando se incubó en la superficie; sin embargo el daño disminuyó significativamente a profundidad sugiriendo una reparación activa. Helbling *et al.* (2008), no detectaron la acumulación de DPC en dinoflagelados marinos de la misma zona. En cambio, observaron en muestras estáticas una fotoinhibición significativa inducida principalmente por RUV-A en *Heterocapsa triquetra* y un aumento significativo en la inhibición de la fijación de carbono en la misma especie y en *Gymnodinium chlorophorum* con el aumento de la velocidad de mezcla. En esta última especie, el efecto se debió a la RUV-B. Por el contrario, no observaron ningún efecto de la RUV en *Prorocentrum micans* bajo ninguno de los regímenes de mezcla probablemente debido a la presencia de compuestos absorbentes de UV. En general, y aunque los rayos UV-B parecen ser responsables de una parte significativa del daño en el material genético, hay evidencia de la existencia de actividad de reparación del ADN (Buma *et al.*, 2001; Helbling *et al.*, 2001).

En términos generales, la reducción de la tasa de crecimiento, es uno de los efectos más conspicuos de la exposición a RUV (Gonçalves *et al.*, 2010). Esta alteración a menudo genera a su vez cambios en la composición taxonómica de la comunidad, en donde pueden dominar células de

pequeño tamaño (Villañe *et al.*, 1995). Estas modificaciones han sido registradas en comunidades planctónicas marinas y de agua dulce de zonas templadas luego de la exposición a la RUV (Cabrera *et al.*, 1997; Halac *et al.*, 1997; Helbling *et al.*, 2005). Marcoval *et al.* (2008), observaron que algunas especies de fitoplancton en las costas patagónicas, redujeron las tasas de crecimiento bajo la exposición a RUV y en otros casos no se observó ningún efecto. Asimismo Hernando y San Román (1999), en el canal Beagle no registraron cambios en el crecimiento de la diatomea *Navicula*, mientras que una especie criptofita mostró menores tasas de crecimiento cuando se expuso a UV-B.

Es sabido que los primeros estadios de vida de los organismos marinos son vulnerables a la RUV-B. Estudios en zoeas I de cangrejos braquiuros en aguas costeras del norte de la Patagonia, evidenciaron mecanismos de adaptación a la RUV, tales como: 1) incorporación y direccionamiento de compuestos fotoprotectores desde las gónadas de las hembras hacia los embriones, y posteriormente a las larvas recién liberadas, y 2) posible actividad enzimática de reparación de daños, reflejada en un aumento de la resistencia a la RUV-B bajo mayores temperaturas tanto en *Cyrtograpsus altimanus* como en *Cyrtograpsus angulatus*. A su vez, en estadios larvales más avanzados de *C. altimanus*, la acumulación de compuestos que absorben RUV les otorga una mayor tolerancia a la RUV-B. Además se observó un retardo/anulación de la muda, y por lo tanto del crecimiento y un aumento en la actividad natatoria y de la capacidad de desplazamiento vertical en larvas de *C. altimanus* expuestas a dosis sub-letales de RUV-B. Debido a que la reproducción de esta especie ocurre en verano, la RUV natu-

ral tendría una influencia directa en el acoplamiento bentos-plancton y su dinámica en aguas costeras patagónicas (Hernández Moresino *et al.*, 2011; Hernández Moresino, 2012). Por lo tanto, este factor afecta el desarrollo de las poblaciones de cangrejos que habitan las costas patagónicas. Sumado a ello, la sensibilidad a la RUV-B fue muy influenciada por la temperatura en las especies del género *Cyrtograpsus*, por lo que la interacción entre estos dos factores debe ser tenida en cuenta en un contexto del cambio global (Hernández Moresino, 2012).

Por otro lado, la concentración de componentes que absorben RUV pueden ser diferentes en distintas especies de macroalgas que constituyen la dieta de muchos organismos, siendo mayor en las rodófitas y menor en las clorófitas. Además, Valiñas y Helbling (2015) observaron que niveles altos de RUV-B, producen un mayor impacto

en hembras del anfípodo *Amphitoe valida* alimentadas con clorófitas que con rodófitas; mientras que los machos no presentaron diferencias. Por otra parte, los adultos del isópodo *Idothea báltica* mostraron ser vulnerables a UV-B independientemente de su dieta. Posiblemente esta especie deposita los compuestos absorbentes (MAAS: mycosporine-like amino acids) en los huevos y embriones confiriendo protección a su progenie. Considerando un escenario eutrófico y alta RUV, un incremento en los nutrientes favorecería solamente a los machos de *Amphitoe valida*, mediante la reducción de los efectos negativos de la RUV en la tasa de consumo de alimento. De todas maneras, este incremento en los nutrientes causaría problemas adicionales como anoxia, como resultado del crecimiento inusual de las macroalgas, afectando la supervivencia de los anfípodos (Valiñas *et al.*, 2014).

TEMPERATURA

Los cambios de temperatura en las masas de agua, producen cambios en la composición y distribución de la biota (Briggs, 1995). En el sur de Sudamérica (Islas Orcadas del Sur) se registró un aumento de 2°C en la temperatura media anual del aire durante el siglo pasado, mientras que en la última década, el incremento fue de 0.2°C (Servicio Meteorológico Nacional 2007) (Aigo *et al.*, 2008). En este contexto, el patrón observado en el fitoplancton del estuario de bahía Blanca (EBB, Buenos Aires, Argentina), desde el año 1978 se ha modificado (Guinder *et al.*, 2010). A partir del 2006 el típico y único bloom fitoplanctónico invernal ha desaparecido y se han producido cambios fenológicos junto

con reemplazos de la especie dominante *Thalassiosira curviseriata* y la aparición de otras especies fitoplanctónicas como *Cyclotella* sp. y *T. minima*. Además se registró una tendencia hacia especies más pequeñas (*Chaetoceros* spp. y *Cyclotella* spp). Se cree que estos cambios están relacionados con los aumentos de temperatura en invierno y períodos extremadamente secos durante los últimos años. En este sentido, estos autores mencionan que el cambio climático ha modificado las características hidrológicas especialmente en la zona interna del EBB en cuanto a aumentos de temperatura y salinidad, los cuales podrían haber disparado cambios en la comunidad y en la estructura de las especies fitoplanctónicas. Además,

estos mismos autores describen cambios en el comportamiento estacional de *T. minima* con respecto a años previos, registrando altas concentraciones de esta especie durante el verano (Guinder *et al.*, 2012). Estos aumentos exclusivamente tendrían una estrecha relación con los aumentos de temperatura, salinidad y turbidez registrados durante los últimos períodos estivales en el estuario. Recientemente, Guinder *et al.* (2017) encontraron que *T. curviseriata* se vería afectada por cambios de temperatura y salinidad y por el efecto de consumo (grazing) del copépodo *Eurytemora americana*, especie que incrementó su abundancia en los últimos años en el EBB (Berasategui *et al.*, 2009; Fernández Severini *et al.*, 2011).

En relación al plancton gelatinoso, Schiaviti *et al.* (2014) encontraron que la reproducción asexual (*i.e.* liberación de estadios inmaduros de medusas por estructuras generadoras de medusas llamadas pólipos) de varias especies de escifomedusas (“verdaderas medusas”), se incrementa a medida que aumenta la disponibilidad de alimento y la temperatura. De esta forma, si la densidad de los pólipos aumenta, la magnitud de los blooms se incrementa considerablemente. Sin embargo el potencial de una especie para regular la densidad de sus pólipos y, en consecuencia de explotar demográficamente, dependerá de la capacidad de adaptar su estrategia reproductiva en respuesta a las condiciones ambientales reinantes (Schiaviti *et al.*, 2014).

En este mismo contexto, Acha *et al.* (2012) mencionan que las altas temperaturas pueden aumentar la tasa de crecimiento de las larvas del pez *Micropogonias furnieri* del mar Argentino y de este modo disminuir las tasas de mortalidad ya que los individuos pasan menos tiempo en la etapa vulnerable expuestos a los depredadores. La

temperatura también puede tener un efecto durante la fase adulta; valores fuera de los rangos que normalmente experimentan las poblaciones de peces retrasarían la maduración en temperaturas frías y acelerarían la maduración en temperaturas más cálidas (Bye, 1990), lo que puede acortar o prolongar la temporada reproductiva y afectar la producción anual de huevos.

Por otro lado, y en relación a los cambios de temperatura se ha demostrado la presencia de peces y crustáceos no esperados en ciertas regiones del mar Argentino. Estudios en el golfo San Jorge, han demostrado el reciente avance de numerosas especies de peces (*Trachurus lathami*, *Micropogonias furnieri*, *Cynoscion guatucupa*, *Urophycis brasiliensis* entre otras) y crustáceos (*Artemesia longinaris*, *Peisos petrunkevitchi*, *Alpheus puapeba* entre otras) originalmente descriptos para aguas templado-cálidas (Góngora *et al.*, 2003; Vinuesa, 2005) Asimismo se ha registrado a *Pagrus pagrus* y *Diplodus argenteus* en cercanías de Rawson, aproximadamente 2° más al sur que los registros previos (Galván, 2004, com. pers.). Además, el hallazgo de especies de peces marinas en ciertos lagos patagónicos podrían estar relacionado con los cambios de temperatura (Aigo *et al.*, 2008). Del mismo modo, el calentamiento regional también puede ser el causante de los cambios en la composición de las comunidades de las playas arenosas de Atlántico. La mortandad masiva de la almeja amarilla en Argentina en 1995 promovió el crecimiento de especies favorecidas por temperaturas cálidas, tales como el berberecho *Donax hanleyanus*. Esta especie reemplazó a la almeja amarilla como especie dominante (Dadón, 2005; Herrmann, *et al.*, 2009; Thompson y Sánchez De Bock, 2009). Ortega *et al.* (2012) sugieren que la mortandad masiva

de la almeja amarilla ocurrida desde Brasil hasta la Argentina podría estar relacionada con el aumento sistemático de las anomalías en la temperatura superficial del mar (ATSM), asociado con una migración hacia el sur de una isoterma cálida crítica, lo que causó una potenciación de la influen-

cia negativa de las aguas cálidas oceánicas. Además, en coincidencia con el aumento sistemático de ATSM, se ha observado en las almejas un incremento a largo plazo de enfermedades y deformaciones en branquias y pie (Fiori *et al.*, 2004).

EFFECTO CONJUNTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y TEMPERATURA

Poco se conoce sobre la interacción conjunta de la temperatura y la RUV. Muchos organismos disponen de mecanismos para evitar o minimizar el daño producido por la RUV, pero la combinación del RUV y temperatura hace que difiera en el tipo de respuesta. Villafañe *et al.* (2003), observaron en el fitoplancton de bahía Engaño (Chubut), que la inhibición fotosintética fue más alta en presencia de RUV en comparación con los tratamientos sólo con PAR y algunas etapas de la sucesión mostraron un efecto adicional debido a la temperatura. Por otro lado, el aumento de las temperaturas tuvo poco efecto en el pre-bloom fitoplanctónico, pero ayudó a contrarrestar la magnitud de la disminución del rendimiento durante el inicio del bloom. Sin embargo, durante el bloom y en primavera, la temperatura y la RUV actuaron sinérgicamente, aumentando la inhibición fotoquímica. Del mismo modo, Helbling *et al.* (2011) observaron que un aumento de temperatura podría contrarrestar parcialmente el efecto negativo de la RUV en la fotoinhibición de *T. weissflogii* a partir del incremento de las respuestas de las vías metabólicas como por ejemplo un aumento en la actividad de la *Rubisco* y por lo tanto una mayor producción. En los ecosistemas ma-

rinios templados de las costas Patagónicas, se ha demostrado también que la radiación y la concentración de nutrientes, junto con el estado fisiológico de las células desempeñan un papel muy importante al momento de evaluar la eficiencia fotosintética (Marcoval *et al.*, 2008). Además, se ha demostrado que la dinámica de las mareas junto con el forzamiento físico son factores clave para determinar la distribución, dinámica y fotoinhibición del fitoplancton en el estuario del río Chubut (Helbling *et al.*, 2010).

Por otro lado, Williamson *et al.* (2002) observaron que las temperaturas elevadas aumentaron la tolerancia a UV en el cladóceros *Daphnia catawba* y el copépodo *Leptodiantomus minutus*, especies que dependen en gran medida de la reparación fotoenzimática (REF), pero produjo la disminución de la tolerancia a UV en el rotífero *Asplanchna girodi*, una especie que tiene menor REF. Además, el tamaño corporal en *Daphnia* disminuyó con el aumento de la dosis UV. Por lo tanto estos autores concluyeron que los efectos pueden ser específicos de la especie y depender de la capacidad de REF de éstas.

Como se mencionó anteriormente las respuestas del plancton a los factores climáticos pueden depender del tamaño de las

células. En aguas costeras de la Patagonia se observó una alta reproducción de los copépodos *Euterpina acutifrons* y *Paracalanus parvus* durante el verano lo que se relacionaría con el ciclo reproductivo de los copépodos de pequeña talla en los mares templados, el cual es controlado de manera positiva por la temperatura. Por otro lado, se encontraron mayores abundancias de especies de copépodos de mayor tamaño como *Acartia tonsa* cuando la temperatura del mar fue más baja (Spinelli *et al.*, 2016). En el periodo primavera / verano, se registraron altos niveles de radiación y de temperatura, y dominaron en términos de abundancia los flagelados (presa potencial de copépodos); por lo tanto, las poblaciones de especies pequeñas, como el harpacticóideo *E. acutifrons* fueron más abundantes. Asimismo, la diversidad de especies de copépodos fue alta en invierno, cuando la RUV fue baja.

Finalmente, también en aguas costeras de la Patagonia se observó que las larvas zoeas de los cangrejos *C. altimanus*, *C. angulatus* y *Leucippa pentagona* presentaron una resistencia a la exposición UV-B DL50 (dosis de exposición al alcanzar el 50% de mortalidad larvaria) significativamente inferior a la radiación UV-B incidente diaria en la superficie. Esto no sólo afectaría la supervivencia de estas especies sino que condicionaría su distribución en la columna de agua. De las especies estudiadas, sólo las larvas de *Cyrtograpsus* mostraron un incremento significativo en DL50 al incrementarse la temperatura, sugiriendo que esta especie sería la más exitosa bajo un eventual proceso de aumento de temperatura debido al cambio climático (Hernández Morelino y Helbing, 2009).

ACIDIFICACIÓN

Durante el siglo XXI el incremento del CO₂ atmosférico, ha producido un aumento de la temperatura media de los océanos de 0,74°C y de la acidez de 0.1 unidad de pH (Solomon, 2007). La acidificación oceánica es muy preocupante y es causante del rápido cambio que está sufriendo el sistema carbonato en los océanos del mundo. La acidificación oceánica conducida por CO₂ lleva a una disminución del estado de saturación de carbonato de calcio de las aguas superficiales oceánicas y tiene impactos potencialmente negativos en taxones marinos, particularmente en los comúnmente

conocidos como calcificadores (Guinotte y Fabry, 2008; Kurihara, 2008). Estudios en el gasterópodo *Trophon geversianus* demuestran que la variación espacial en el tamaño corporal está relacionado con la variación del pH del océano. En contra de las expectativas, se observó una correlación negativa con la longitud media de la concha y el peso relativo de la concha. Esto podría reflejar el efecto negativo de la acidificación en la tasa de crecimiento, que puede causar mayor tamaño asintótico (Malvé *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES FINALES

A partir de estos trabajos se desprenden importantes conclusiones, y si bien mayoría de los estudios en Argentina son preliminares y provienen de la región patagónica, se puede observar que las modificaciones en las variables climáticas afectan sensiblemente las poblaciones de organismos marinos costeros. Estos efectos se traducen en cambios de tamaño, modificaciones en sus ciclos biológicos, cambios de hábitat con la

concomitante aparición y desaparición de especies, modificaciones en la cadena trófica, entre otros. Por lo tanto, es evidente que las zonas costeras son altamente susceptibles a los procesos desencadenados a partir del cambio climático regional y global lo cual significa una señal de alerta para los posteriores estudios que se desarrollen en el área.

LITERATURA CITADA

- Aigo, J., V. Cussac, S. Peris, S. Ortubay, S. Gómez, H. López, y M. Battini, 2008. Distribution of introduced and native fish in Patagonia (Argentina): patterns and changes in fish assemblages. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 18(4): 387-408.
- Acha, E.M., C.G. Simionato, C. Carozza, y H. Mianzan, 2012. Climate-induced year-class fluctuations of whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Pisces, Sciaenidae) in the Río de la Plata estuary, Argentina-Uruguay. *Fisheries Oceanography*, 21: 58-77.
- Barbieri, E. S., V.E. Villafañe, y E.W. Helbling, 2002. Experimental assessment of UV effects upon temperate marine phytoplankton when exposed to variable radiation regimes. *Limnology and Oceanography*, 47: 1648-1655.
- Berasategui, A.A., M.S. Hoffmeyer, F. Biancalana, M. Fernández Severini, y M.C. Menéndez, 2009. Temporal variation in abundance and fecundity of the invading copepod *Eurytemora americana* in Bahía Blanca Estuary during an unusual year. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 85: 82-88.
- Bouchard, J.N., D.A. Campbell, y S. Roy, 2005. Effects of UV-B radiation on the D1 protein cycle of natural phytoplankton communities from three latitudes (Canada, Brazil and Argentina). *Journal of Phycology*, 41: 273-286.
- Brierley, A.S., y M.J. Kingsford, 2009. Impacts of climate change on marine organisms and ecosystems. *Current Biology*, 19: R602-R614.
- Briggs, J.C., 1995. Global Biogeography, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 453 p.
- Buma, A.G.J., E.W. Helbling, M.K. De Boer, y V.E. Villafañe, 2001. Patterns of DNA damage and photoinhibition in temperate South-Atlantic picophytoplankton exposed to solar ultraviolet radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology*, 62: 9-18.
- Buma, A.G.J., P. Boelen, y W.H. Jeffrey, 2003. UVR induced DNA damage in aquatic organisms. p. 291-327. In: E. W. Helbling and H.E. Zagarese (eds.), UV effects in aquatic organisms and ecosystems, Series in photochemical and photobiological sciences, Royal Society of Chemistry, Cambridge, 575 p.

- Bye, V.J., 1990. Temperate marine teleosts. p. 125-143. In: A.D. Munro, A.P. Scott and T.J. Lam (eds.), Reproductive Seasonality in Teleosts: Environmental Influences, Boca Raton, CRC Press, 264 p.
- Cabrera, S., M. López, y B. Tartarotti, 1997. Phytoplankton and zooplankton response to ultraviolet radiation in a high-altitude Andean lake: short - versus long-term effects. *Journal of Plankton Research*, 19: 1565-1582.
- Connelly, S. J., R.E. Moeller, G. Sanchez, y D.L. Mitchell, 2009. Temperature effects on survival and DNA repair in four freshwater cladoceran *Daphnia* species exposed to UV radiation. *Photochemistry and Photobiology*, 85: 144-152.
- Dadón, J. R., 2005. Changes in the intertidal community structure after a mass mortality event in sandy beaches of Argentina. *Contribution to Zoology*, 74: 27-39.
- Doney, S. C., M. Ruckelshaus, J.E. Duffy, J.P. Barry, F. Chan, C.A. English, H.M. Galindo, J.M. Grebmeier, A.B. Hollowed, N. Knowlton, J. Polovina, N. Rabalais, W.J. Sydeman y L.D. Talley, 2012. Climate change impacts on marine ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 4: 11-37.
- Fernández Severini, M.D., S.E. Botté, M.S. Hoffmeyer, y J.E. Marcovecchio, 2011. Lead Concentrations in Zooplankton, Water, and Particulate Matter of a Southwestern Atlantic Temperate Estuary (Argentina). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 61: 243-260.
- Fiori, S., V., R. Vidal-Martínez, R. Simá-Álvarez, M.L. Rodríguez-Canul, M. L., Aguirre-Macedo, y O. Defeo, 2004. Field and laboratory observations of the mass mortality of the yellow clam *Mesodesma mactroides* in South America: the case of Isla del Jabalí, Argentina. *Journal of Shellfish Research*, 23: 451-455.
- Gonçalves, R.J., M.S. Souza, J. Aigo, B. Modenutti, E. Balseiro, V.E. Villafañe, V. Cusac, y E.W. Helbling, 2010. Responses of plankton and fish from temperate zones to UVR and temperature in a context of global change. *Ecología Austral*, 20: 129-153.
- Guinder, V.A., C.A. Popovich, J.C. Molinero, y G.M.E. Perillo, 2010. Long-term changes in the composition, occurrence, timing and magnitude of phytoplankton blooms in the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Marine Biology*, 157: 2703-2716.
- Guinder, V.A., C.A. Popovich, y G.M.E. Perillo, 2012. Phytoplankton and physico-chemical analysis on the water system of the temperate estuary in South America: Bahía Blanca Estuary, Argentina. *International Journal of Environmental Research*, 6: 547 - 556
- Guinder, V.A., J.C. Molinero, M.C. López Abate, A. Berasategui, C. Popovich, A. C.V. Spetter, J.E. Marcovecchio, y R.H. Freije, 2017. Phenological changes of blooming diatoms promoted by compound bottom-up and top-down controls. *Estuaries and Coasts*, 40: 95-104.
- Góngora, M.E., N. Bovcon, O. Cochía, y A.E. Gosztonyi, 2003. Aportes al conocimiento de la ictiofauna del Golfo San Jorge. V Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, No. 117, Mar del Plata.
- Guinotte, J. M., y V.J. Fabry, 2008. Ocean acidification and its potential effects on marine ecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134: 320-342.
- Halac, S., M. Felip, L. Camarero, S. Sommaruga-Wograth, R. Psenner, C. Jordi, y R. Sommaruga, 1997. An in situ enclosure experiment to test the solar UVB impact on plankton in a high-altitude mountain lake. I. Lack of effect on phytoplankton species composition and growth. *Journal of Plankton Research*, 19: 1671-1686.
- Helbling, E. W., A.G. Buma, M.K. de Boer, y V.E. Villafañe, 2001. In situ impact of solar ultraviolet radiation on photosynthesis and DNA in temperate marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 211: 43-49.

- Helbling, E.W., E.S. Barbieri, M.A. Marcoval, R.J. Gonçalves, y V.E. Villafañe, 2005. Impact of solar ultraviolet radiation on marine phytoplankton of Patagonia, Argentina. *Photochemistry and photobiology*, 81: 807-818.
- Helbling, E.W., A.G. Buma, W. van de Poll, M.V.F. Zenoff, y V.E. Villafañe, 2008. UVR-induced photosynthetic inhibition dominates over DNA damage in marine dinoflagellates exposed to fluctuating solar radiation regimes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 365: 96-102.
- Helbling, E.W., P.D. Pérez, C.D. Medina, M.G. Lagunas, y V.E. Villafañe, 2010. Phytoplankton distribution and photosynthesis dynamics in the Chubut River estuary (Patagonia, Argentina) throughout tidal cycles. *Limnology and Oceanography*, 55: 55-65.
- Helbling, E.W., A.G.J. Buma, P. Boelen, H.J. van der Strate, M.V. Fiorda-Giordanino, y V.E. Villafañe, 2011. Increase in Rubisco activity and gene expression due to elevated temperature partially counteracts ultraviolet radiation-induced photoinhibition in the marine diatom *Thalassiosira weissflogii*. *Limnology and Oceanography*, 56(4): 1330-1342.
- Hernández-Moresino, R.D., 2012. Impacto de la radiación ultravioleta (RUV) en estadios larvales de distintas especies de cangrejos. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche.
- Hernández-Moresino, R.D., R.J. Gonçalves, y E.W. Helbling, 2011. Sublethal effects of ultraviolet radiation on crab larvae of *Cyrtograpsus altimanus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 407: 363-369.
- Hernández-Moresino R.D., y E.W. Helbling, 2009. Combined effects of UVR and temperature on the survival of crab larvae (Zoea I) from Patagonia: the role of UV-absorbing compounds. *Marine Drugs*, 8(5):1681-1698.
- Hernando, M.P., y N. San Román, 1999. Preliminary data on chronic effects of ultraviolet radiation on the growth of some phytoplankton species of the Beagle Channel, Argentina. *Scientia Marina*, 63: 81-88.
- Herrmann, M., D. Carstensen, S. Fischer, J. Laudien, P.E. Penchaszadeh, y W.E. Arntz, 2009. Population structure, growth, and production of the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) from northern Argentinean beaches. *Journal of Shellfish Research*, 28: 511-526.
- Hoegh-Guldberg, O., y J.F. Bruno, 2010. The impact of climate change on the World's marine ecosystems. *Science*, 328: 1523-1528.
- Hoyer, K., U. Karsten, T. Sawall, y C. Wiencke, 2001. Photoprotective substances in Antarctic macroalgae and their variation with respect to depth distribution, different tissues and developmental stages. *Marine Ecology Progress Series*, 211: 117-129.
- IPCC, 2014. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. In: Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R., y White, L. L. (eds.), Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1132 p.
- Kurihara, H., 2008. Effects of CO₂-driven ocean acidification on the early developmental stages of invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 373: 275-284.
- Malvé, M.E., S. Gordillo, y M. Rivadeneira, M. M., 2016. 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 United Kingdom*, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0025315416001557>.

- Marcovál, M.A., V.E. Villafañe, y E.W. Helbling, 2008. Combined effects of solar ultraviolet radiation and nutrients addition on growth, biomass and taxonomic composition of coastal marine phytoplankton communities of Patagonia. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 91: 157-166.
- Ortega L., J.C. Castilla, M. Espino, C. Yamashiro, y O. Defeo, 2012. Effects of fishing, market price, and climate on two South American clam species. *Marine Ecology Progress Series*, 469: 71-85.
- Schiariti A., A.C. Morandini, G. Jarms, R. von Glehn Paes, S. Franke, y H. Mianzan, 2014. Asexual reproduction strategies and blooming potential in *Scyphozoa*. *Marine Ecology Progress Series*, 510: 241-253.
- Sobrinho, C., O. Montero, y L.M. Lubián, 2004. UVB radiation increases cell permeability and damages nitrogen incorporation mechanisms in *Nannochloropsis gaditana*. *Aquatic Science*, 66: 421-429.
- Solomon, S., 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007.
- Spinelli, M.L., R.J. Gonçalves, V.E. Villafañe, y F.L. Capitano, 2016. Diversity of copepods in Atlantic Patagonian coastal waters throughout an annual cycle. *Ciencias Marinas*, 42 (1): 31-47.
- Thompson, G.A., y M.A. Sánchez De Bock, 2009. Influence of beach morphodynamics on the bivalve *Donax hanleyanus* and *Mesodesma mactroides* populations in Argentina. *PSZNI: Marine Ecology*, 30: 198-211.
- Valiñas, M.S., P. Bermejo, L. Galbán, L. Laborda, D.P. Häder, V.E. Villafañe, y E.W. Helbling, 2014. Combined impact of ultraviolet radiation and increased nutrients supply: a test of the potential anthropogenic impacts on the benthic amphipod *Amphitoe valida* from Patagonian waters (Argentina). *Frontiers in Environmental Science*, 32 (2): 1-10.
- Valiñas M. S., y E.W. Helbling, 2015. Sex-dependent effects of ultraviolet radiation on the marine amphipod *Ampithoe valida* (Ampithoidae). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 147: 75-82.
- Villafañe, V. E., E.W. Helbling, O. Holm-Hansen, y B. Chalker, 1995. Acclimatization of Antarctic natural phytoplankton assemblages when exposed to solar ultraviolet radiation. *Journal of Plankton Research*, 17(12): 2295-2306.
- Villafañe, V. E., K. Sundbäck, F. Figueroa, y E.W. Helbling, 2003. Photosynthesis in the aquatic environment as affected by UVR. p. 357-397. In: E. W. Helbling y Zagarese H. E. (eds.), *UV effects in aquatic organisms and ecosystems*. Royal Society of Chemistry, 575 p.
- Villafañe V.E., E.S. Barbieri, y W.E. Helbling, 2004a. Annual patterns of ultraviolet radiation effects on temperate marine phytoplankton off Patagonia, Argentina. *Journal of Plankton Research* 26 (2): 167-174.
- Villafañe, V. E., M.A. Marcovál, y E. W. Helbling, 2004b. Photosynthesis versus irradiance characteristics in phytoplankton assemblages off Patagonia (Argentina): temporal variability and solar UVR effects. *Marine Ecology Progress Series*, 284: 23-34.
- Vinuesa, J. H., 2005. Distribución de crustáceos decápodos y estomatópodos del golfo San Jorge, Argentina. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 40(1): 7-21.
- Visser, P.M., J.J. Poos, B.B. Scheper, P. Boelen, y F.C. Van Duyl, 2002. Diurnal variations in depth profiles of UV-induced DNA damage and inhibition of bacterioplankton production in tropical coastal waters. *Marine Ecology Progress Series*, 228: 25-33.
- 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.

Williamson, C.E., G. Grad, H.J. De Lange,
S. Gilroy, y D.M. Karapelou, 2002. Tem-
perature-dependent ultraviolet responses
in zooplankton: Implications of clima-
te change. *Limnology and Oceanography*,
47(6): 1844-1848.