

La zona costera en Chile: adaptación y planificación para la resiliencia

EDITORES Carolina Martínez
Rodrigo Hidalgo
Cristián Henríquez
Federico Arenas
Nelson Rangel-Buitrago
Manuel Contreras-López

La elaboración y organización de este libro se desarrolla en el marco del PROYECTO FONDECYT N° 1151367, la Cátedra UNESCO-Cousteau "Formación de especialistas en Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sustentable de la Zona Costera", y el Centro para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastre, CIGIDEN (CONICYT/FONDAP/15110017).

Todos los capítulos de este libro fueron sometidos a arbitraje externo, en modalidad de doble par ciego.

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
Avenida Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile
Fono: +56 223544716

Editor Serie GEOlibros: Rodrigo Hidalgo

SERIE GEOlibros N° 31

Comité Editorial Serie GEOlibros: José I. González Leiva (Pontificia Universidad Católica de Chile), Federico Arenas Vásquez (Pontificia Universidad Católica de Chile), Rafael Sagredo (Pontificia Universidad Católica de Chile), Axel Borsdorf (Universidad Innsbruck), Horacio Capel (Universidad de Barcelona), Sandra Lencioni (Universidad de Sao Paulo) y Carlos de Mattos (Pontificia Universidad Católica de Chile).

Editores Geolibro N° 31: Carolina Martínez (Pontificia Universidad Católica de Chile), Rodrigo Hidalgo (Pontificia Universidad Católica de Chile), Cristián Henríquez (Pontificia Universidad Católica de Chile), Federico Arenas (Pontificia Universidad Católica de Chile), Nelson Rangel-Buitrago (Universidad del Atlántico, Colombia) y Manuel Contreras-López (Universidad de Playa Ancha, Chile).

La serie GEOlibros es publicada por el Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile con el objetivo de difundir trabajos de carácter geográfico y obras vinculadas al conocimiento espacial y territorial. Todos los textos que ella publica son revisados por el Comité Editorial de la Serie GEOlibros, quien deriva los textos a pares evaluadores ciegos, cuyas observaciones son entregadas individualmente a los autores para su incorporación a los trabajos definitivos.

LA ZONA COSTERA EN CHILE: ADAPTACIÓN Y PLANIFICACIÓN PARA LA RESILIENCIA

Rodrigo Hidalgo, Carolina Martínez, Cristián Henríquez, Federico Arenas, Nelson Rangel-Buitrago y Manuel Contreras-López (editores)

Diseño y diagramación: Héctor Aguilera - Antonia Gómez

Revisión de textos: Carolina Martínez - Cristián Henríquez

Gestión editorial: Luis Muñoz Villarroel

Portada: "Azules", Gonzalo Bacigalupe. Concurso "Artifica la UC", 2019

Impresión: Gráfica LOM Santiago de Chile

Primera edición: septiembre de 2019

ISBN N° 978-956-14-2442-5

Servicios ecosistémicos afectados por desastres naturales en la costa y el mar

Ecosystem services affected by natural disasters at coast and sea

Eulogio Soto Oyarzún¹

Resumen

Se describen los principales servicios ambientales, con énfasis en funciones y procesos, mayormente afectados por amenazas de naturaleza biológica, oceanográfica y climática registradas en las zonas costeras de Chile. Algunas de estas amenazas no son consideradas desastres naturales en los diagnósticos locales por el desconocimiento que actualmente se tiene de sus impactos y consecuencias en la sociedad, las economías y los ecosistemas. El análisis consideró el fenómeno de “El Niño”, las Floraciones Algales Nocivas, la Acidificación del Océano, las Zonas de Mínimo de Oxígeno, el Varamiento Masivo de Organismos en la costa y las Especies Invasoras como principales amenazas que se constituyen en reales desastres naturales. Por las características de estos eventos y fenómenos, los servicios ecosistémicos más afectados son la regulación climática de procesos ambientales biogeoquímicos y tramas tróficas, los servicios de provisión de alimentos, recursos, materias primas y fibras y los servicios de soporte asociados a la pérdida de biodiversidad, producción primaria, vulnerabilidad del hábitat y resiliencia. También se ven afectados fuertemente servicios ambientales estéticos, turísticos y culturales por la importancia y valor que hoy tienen como patrimonio natural. Con el objetivo de conducir un adecuado manejo de los desastres naturales, urge la necesidad de un mejor conocimiento de los bienes, funciones y procesos ambientales y su valorización económica, considerando que está en riesgo la seguridad alimentaria y la salud del planeta.

Palabras claves: bienes y recursos naturales, procesos biológicos y funciones ambientales, amenazas, biodiversidad, cambio climático.

Abstract

The main environmental services with focus on functions and processes mostly affected by biological, oceanographic and climate threats recorded in coastal zones of Chile are described. Some of these threats are not considered natural disasters in local analyses due to current ignorance about their impacts and consequences on society, economies and ecosystems. This study considered the ENSO phenomena, Harmful Algal Blooms, Ocean Acidification, Oxygen Minimum Zones, Massive Species Strandings and Invasive Species as main threats that becoming on real natural disasters. By characteristics of these events and phenomena the ecosystem services more affected are those related to climate regulating, biogeochemical environmental processes regulating and food chains; the food provisioning services, resources, raw materials and fibers and the supporting services related to biodiversity loss, primary production, habitat vulnerability and resilience. Aesthetic, tourist and cultural environmental services are also affected by the current importance and value as natural heritage. Addressing a suitable management of natural disasters require urgently the need of better knowledge of goods, functions and environmental processes as well as economic valuating, considering that food security and health planet is at risk.

Keywords: goods and natural resources, biological processes and environmental functions, threats, biodiversity, climate change.

1. Introducción

La zona costera comprende el espacio territorial en que confluye el ecosistema terrestre con el ecosistema marino y en ella se integran, por lo tanto, una amplia variedad de actividades, usos, actores, impactos, factores ambientales, procesos ecológicos y amenazas de ambos espacios.

Dependiendo de su naturaleza geográfica, nivel de desarrollo, recursos disponibles y grado de administración por las instituciones y autoridades pertinentes, entre otras características, la costa presentará distintos niveles de riesgo, deterioro y vulnerabilidad a todas aquellas amenazas tanto de origen antrópico como natural que la puedan impactar.

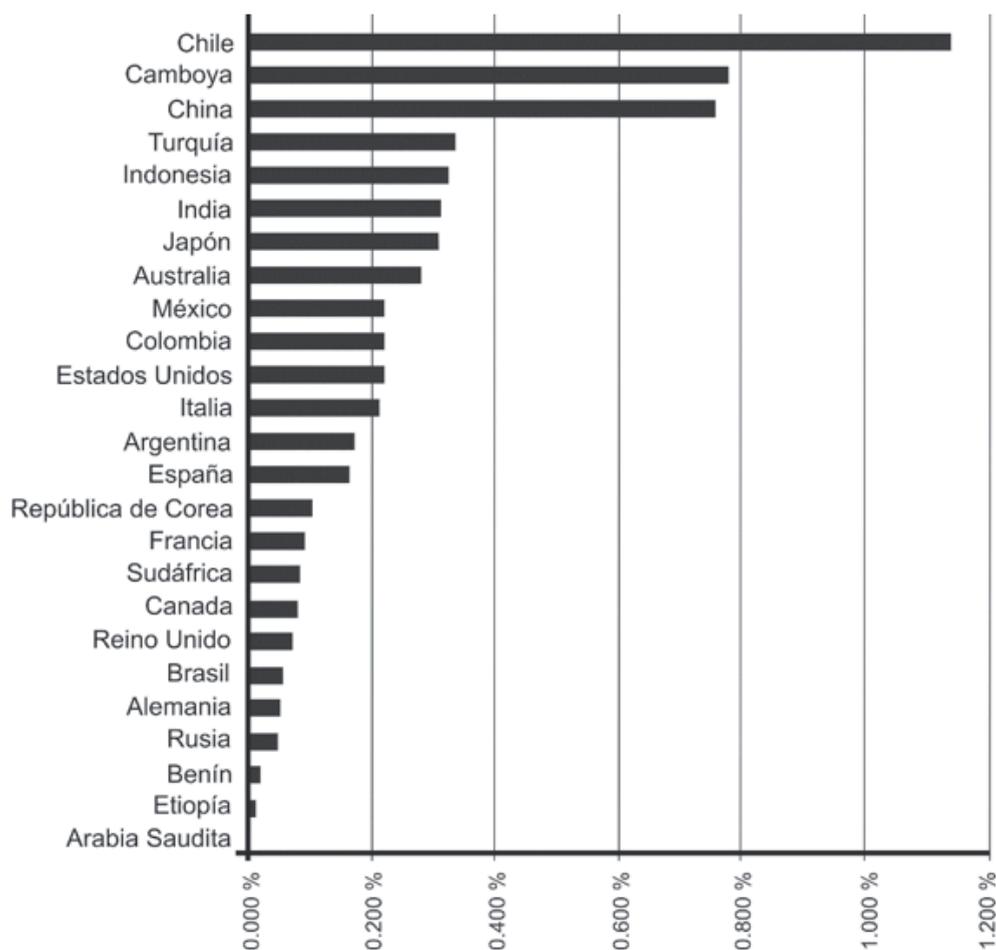
Tradicionalmente el crecimiento demográfico, la contaminación, la industrialización, la urbanización y ocupación descontrolada del territorio, así como la ausencia de planificación territorial y de un adecuado manejo costero se han constituido en las principales amenazas para el desarrollo armónico y sustentable de la zona costera y sus habitantes. Sin embargo y de acuerdo a lo informado por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), el cambio de hábitat, especies invasoras, explotación excesiva y el cambio climático han surgido en las últimas décadas como nuevos “generadores directos de degradación de los ecosistemas” que han contribuido a una modificación más rápida y evidente de esta zona. Es justamente este último “generador directo de cambio” una de las variables que mayor atención ha tenido en el último tiempo, no únicamente porque ha demostrado un rápido avance en su desarrollo y evolución sino también porque estaría directamente involucrado en el incremento y ocurrencia de desastres naturales en todo ecosistema, a su vez que su influencia se relacionaría con el aumento del riesgo y vulnerabilidad de la zona costera.

Sin duda que la ocurrencia de desastres naturales toma importancia porque afecta a las economías globales, a la infraestructura costera y porque cobra miles de vidas cada año, perjudicando la salud y bienestar de las personas. En términos económicos y a manera de ejemplo, según lo calculado por la firma de seguros Swiss Re, se estima que durante 2016 los desastres naturales costaron US\$306 mil millones a las naciones que los sufrieron (El Comercio, 2017) registrándose efectos importantes en el retroceso del PIB de algunas naciones (Figura N°1). Si bien los aspectos humanos, sociales y económicos son de alta relevancia para una nación al momento de abordar este problema muchas veces se olvida que el medioambiente, la naturaleza y los servicios ecosistémicos que posee también se ven profundamente afectados por los desastres naturales, observándose como consecuencia cambios y grave deterioro en funciones y procesos esenciales y fundamentales que son claves para la vida de todos los seres vivos en el planeta.

El objetivo de este capítulo es centrar la mirada en los servicios ecosistémicos que son afectados por los desastres naturales que se presentan en la costa y el mar, con énfasis en la descripción de aquellos que se ven modificados por factores y eventos de naturaleza biológica que muchas veces no son considerados en los análisis habituales de riesgos de catástrofes.

Figura N°1

Pérdidas por desastres en países seleccionados en porcentaje del PIB. Promedio anual entre 1980-2011



Fuente: Modificado de UNISDR, Global assessment report on disaster risk reduction, United Nations (2015)

2. Servicios ecosistémicos: conceptos y definiciones

Los ecosistemas sustentan todas las actividades y la vida de los seres humanos. Los bienes y servicios que proporcionan son vitales para el bienestar y el desarrollo económico y social en el futuro. Ellos dependen totalmente de transformaciones de energías y materiales que únicamente son obtenidos de la naturaleza y nuestra subsistencia depende de la mantención de los ecosistemas. Teniendo esto en consideración los Servicios Ecosistémicos pueden ser definidos como los bienes y servicios de los ecosistemas naturales que mantienen y satisfacen la vida humana (Constanza *et al.*, 2014). El término fue definido en 1997 por Daily *et al.* (1997) y Constanza *et al.* (1997) como los beneficios que las poblaciones reciben directa o indirectamente de los ecosistemas. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) y otros autores (Beaumont *et al.*, 2007; Granek *et al.*, 2010) los definen como los atributos de los ecosistemas que benefician a la sociedad y mejoran el bienestar humano, mientras que el Ministerio de Medioambiente del Gobierno de Chile considera el concepto de Sukhdev *et al.* (2014) que se refiere a la contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano.

Muchos de estos servicios se traducen en procesos y funciones ecosistémicas fundamentales y esenciales, que en ocasiones no reportan un beneficio directo a la sociedad, como por ejemplo la regulación de nutrientes (Vásquez, 2016), pero que permiten la vida en el planeta como por ejemplo la regulación del clima, los ciclos biogeoquímicos o la provisión de alimentos y materias primas, por ello la relevancia de conocerlos, estudiarlos y evaluar el grado de vulnerabilidad y cambio a perturbaciones y forzantes de gran escala.

Según MEA (2005), actualmente los servicios ecosistémicos se clasifican en cuatro grupos o categorías: Soporte, Provisión, Regulación y Culturales. Los servicios de soporte son aquellos necesarios para la producción de todos los otros servicios ecosistémicos (por ejemplo, producción primaria), los servicios de provisión corresponden a aquellos productos obtenidos desde los ecosistemas (por ejemplo, alimentos y fibras), los servicios de regulación son los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos (regulación climática, polinización, etc.) y los servicios culturales corresponden a los beneficios no materiales que se obtienen desde los ecosistemas (espirituales y religiosos, patrimonio cultural, entre otros) (Cuadro N°1).

Cuadro N°1
Clasificación de Servicios Ecosistémicos

Servicios de Provisión	Servicios de Regulación	Servicios Culturales	Servicios de Soporte o Apoyo
Alimento	Regulación climática	Espirituales y religiosos	Formación de suelo (terrestre y marino)
Energía	Control de enfermedades y plagas	Recreación y turismo	Ciclo de nutrientes
Agua dulce	Purificación del agua	Estéticos	Producción primaria
Madera	Polinización	Inspiradores	Fotosíntesis
Combustibles	Degradación de residuos	Educativos	Resiliencia
Fibras		Patrimoniales	Mantenimiento de la diversidad biológica
Bioquímicos		Identidad y pertenencia	
Recursos genéticos			

Fuente: Elaboración propia

Los servicios de provisión se caracterizan por ser renovables y finitos, pudiendo ser directamente cuantificados, apropiados e inventariados. Por su parte, los servicios culturales surgen de percepciones individuales o comunitarias, pudiendo depender de contextos culturales. Algunos autores como Fisher *et al.* (2009) sugieren diferenciar entre Servicios Ecosistémicos finales e intermedios, siendo los primeros los que están asociados a beneficios sociales directos.

Comentario aparte merece considerar a la Biodiversidad como un servicio ecosistémico distinto, pero íntimamente ligado a los anteriores, debido a que es esencial para la función de los ecosistemas y para que estos presten sus servicios. Sin embargo, la complejidad de la función ecosistémica aún deja incertidumbres respecto del rol de las especies individuales y otros componentes de biodiversidad en el suministro de servicios ecosistémicos, principalmente cuando es vinculado con sistemas socio-ecológicos (de Groot *et al.*, 2016).

La importancia de conocer los distintos servicios ecosistémicos que se ven afectados por la ocurrencia de desastres naturales radica no sólo en el hecho de saber qué bienes o servicios ambientales se dejan de obtener, o que funciones o procesos se ven alterados y de qué forma perjudicarían a la humanidad. Actualmente toma clara relevancia la valoración económica que se puede hacer de ellos, no sólo por saber cuánto dinero se pierde en un lugar o región y la implicancia que eso pueda tener para las economías locales, sino también porque el conocimiento de la distribución espacial y la importancia económica de los servicios ecosistémicos es una información fundamental para mejorar la planificación y gestión territorial de la zona costera (Rodríguez *et al.*, 2016).

3. Clima y oceanografía

Chile se sitúa al sureste de la Cuenca del Océano Pacífico con una costa de más de 4.200 km de longitud y un territorio terrestre continental e insular (excluyendo territorio antártico) de 742.068 km². (SHOA, 2008). Debido a la larga extensión latitudinal y a la conjunción de factores como el relieve de la Cordillera de Los Andes, la presencia del Anticiclón del Pacífico y la influencia del Sistema de la corriente fría de Humboldt, entre los más importantes, su clima es muy diverso. Es así como en el litoral norte encontramos un clima desértico costero; la zona central posee climas templados cálidos; en la zona costera sur dominan los climas lluviosos oceánicos y templados fríos; y en la zona sur-austral los climas oceánicos subantárticos (Castro y Alvarado, 2009).

Sin embargo, la variabilidad climática es el resultado de la interacción espacial y temporal entre elementos climáticos, geográficos y oceanográficos que se dan lugar en un contexto océano-tierra-atmósfera. Entre los elementos climáticos más relevantes podemos mencionar el Anticiclón subtropical del Pacífico, presión atmosférica del aire, concentración de gases, vientos, precipitaciones, humedad relativa, temperatura, nubosidad, luminosidad y radiación solar. Entre los factores geográficos más importantes que determinan el clima podemos considerar la latitud, altitud, relieve, geomorfología costera, sismicidad, vulcanología, erosión, presencia de accidentes geográficos (montañas, islas, cursos de agua, quebradas, dunas), distancia al mar, visibilidad, vegetación y naturaleza del suelo. Finalmente y considerando el rol del océano en la regulación climática, los elementos oceanográficos a tener presente son principalmente las masas de agua y corrientes (que definen y caracterizan los océanos), mareas y oleaje, surgencia y remolinos, procesos físicos (transferencia de calor, temperatura del agua), químicos (evaporación/condensación, nutrientes) y biológicos (excreción, respiración).

Mención especial debe hacerse respecto del fenómeno “El Niño-La Niña, Oscilación del Sur” (ENOS), el cual se ha constituido en un ciclo de influencia global modificando el clima y procesos oceanográficos y biológicos, y generando como consecuencia una serie de desastres naturales, principalmente en la cuenca del Pacífico sureste, e incluso logrando reducir en un 0,19% el crecimiento del PIB nacional (CREDEN, 2016).

Cuando los patrones climáticos manifiestan un cambio estable y durable en su distribución, en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años estamos hablando de Cambio Climático. El Cambio Climático puede estar limitado a una región específica, como puede abarcar toda la superficie terrestre. Suele referirse al cambio climático causado por la actividad hu-

mana (quema de combustibles fósiles, tala de bosques), diferenciándolo del causado por procesos naturales de la Tierra y el Sistema Solar. Actualmente el término “cambio climático” ha llegado a ser sinónimo de “calentamiento global antropogénico”, indicando un aumento de las temperaturas por acción de los humanos.

En las últimas décadas la aceleración del cambio climático se ha constituido en la principal causa de desastres naturales, observándose un incremento de eventos climáticos extremos (IPCC, 2007) y, por consiguiente, consecuencias directas sobre los servicios ecosistémicos (Scholes, 2016). Este autor señala que los impactos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos son predominantemente negativos y están desigualmente distribuidos en el planeta, afectando mayormente a lugares más cálidos, secos y a regiones polares. Por su parte Nelson *et al.* (2013) señalan que el cambio climático altera la función de los sistemas ecológicos, comprobándose que la provisión de servicios y el bienestar de las personas que dependen de estos servicios están siendo modificados.

Anomalías climáticas y eventos climáticos extremos pueden también gatillar, aumentar o debilitar, la expresión de procesos y eventos oceanográfico-biológicos que, según su envergadura, distribución geográfica, daño ambiental e impacto en la población humana, pueden llegar a convertirse en graves problemas naturales con serias consecuencias económicas y sociales. Un ejemplo es lo señalado por Oerder *et al.* (2015), quienes examinan las consecuencias del calentamiento global sobre la productividad del sistema de surgencia Chile-Perú. En el siguiente capítulo se presentan distintos fenómenos ambientales, enfatizando aquellos que tienen su origen en la componente oceanográfico-biológica y que su expresión y nivel de impacto están altamente condicionados por la variable climática. Estos fenómenos naturales suelen generar problemas ambientales y a la población humana en las zonas costeras, pero en ocasiones pueden llegar a transformarse en reales desastres naturales.

4. Desastres, amenazas naturales y riesgos en la costa y el mar

Los desastres nacen de la interacción que ocurre entre eventos que se originan en la naturaleza y el entorno social y físico construido por el hombre. Habitualmente el concepto de desastre natural se refiere al desastre ocasionado sobre las personas y el entorno construido cuyo origen es una amenaza natural, que queda mejor reflejado en el concepto de desastre de origen natural (CREDEN, 2016). Sin embargo, el concepto no menciona ni diferencia que el daño o desastre puede manifestarse sobre un entorno “no construido” (sistema natural) y, por lo tanto, se verán afectados sus componentes bióticos y abióticos, procesos, funciones, recursos y servicios.

Por su parte, el concepto de riesgo debe inicialmente considerar un sistema sobre el cual actúa la amenaza y se evalúa el riesgo. El riesgo mide los efectos negativos o el potencial perjuicio que conlleva una cierta amenaza sobre el sistema considerado. Este concepto puede también involucrar el concepto de resiliencia (CREDEN, 2016).

290 La Comisión Nacional para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural (CREDEN) en su análisis 2016 sólo considera como amenazas naturales los terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, fenómenos climáticos extremos (inundaciones, tormentas y sequías), remoción en masa

(aluviones y avalanchas), e incendios forestales. Sin desmerecer la importancia que tienen estas amenazas naturales, considerando que históricamente han recibido una mayor atención por su nivel de impacto sobre la población humana, la presente investigación quiere dirigir la mirada hacia aquellas amenazas de origen oceanográfico-biológico que son menos conocidas y que muchas veces no suelen asociarse a la ocurrencia de desastres naturales.

El Niño/La Niña, Oscilación del Sur: Este fenómeno global de características cíclicas, está asociado a la intensificación de variables climáticas como precipitaciones y vientos que claramente se pueden traducir en desastres naturales generando inundaciones y destrucción costera. También se altera la presión atmosférica, aumentando la frecuencia e intensidad de temporales y marejadas. De forma contraria, “La Niña” conlleva una disminución de las precipitaciones ocasionando sequía. En términos biológicos el aumento de la temperatura del océano es sin duda el principal factor que explica la alteración del ecosistema marino y sus procesos. Durante condiciones “El Niño” se inhibe la surgencia costera, disminuye la productividad primaria (fitoplancton), se altera toda la cadena trófica y por lo tanto pesquerías de importancia comercial pueden disminuir drásticamente sus *stocks* e incluso llegar al colapso (Espinoza-Morriberón *et al.*, 2017). Adicionalmente se alteran ciclos reproductivos de peces e invertebrados y se ven modificados patrones migratorios por los cambios en la distribución espacial del alimento.

Floraciones Algas Nocivas: Corresponden a aumentos explosivos en la concentración de microalgas tóxicas (especies de dinoflagelados y diatomeas fitoplanctónicas) que pueden generar mortalidades masivas en invertebrados, peces, aves y mamíferos marinos. Las comúnmente llamadas “mareas rojas” se encuentran en este grupo y revisten especial importancia, ya que las microalgas tóxicas que las caracterizan son el alimento de muchos moluscos bivalvos que son consumidos habitualmente por la población, pudiendo ocasionar la muerte. Se ha podido demostrar que condiciones especiales del ambiente (disminución del oxígeno, mayor radiación, aumento de la temperatura del mar, baja circulación de las masas de agua, mayor carga de nutrientes, contaminación) pueden gatillar la expresión de este fenómeno (Buschmann *et al.*, 2016), lo cual además obliga a prohibir la extracción de mariscos con el consecuente problema económico y social. Recientemente también se vio muy afectada la actividad acuícola en sur de Chile, registrándose la mortalidad de toneladas de salmones y generándose pérdidas económicas por US\$43,3 millones (Aqua, 2016).

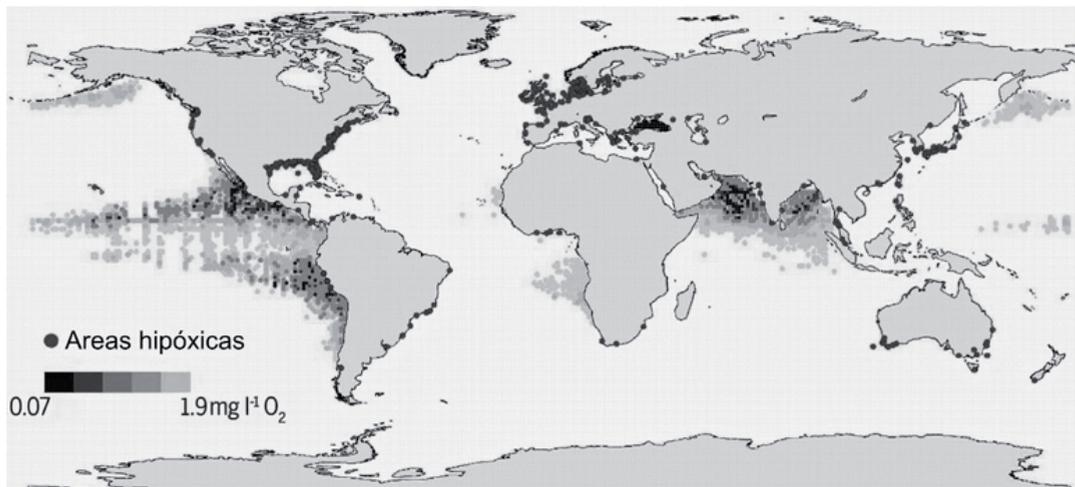
Acidificación del Océano: Es el descenso en curso del pH en el agua de mar como consecuencia de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) producto de la actividad humana. Se estima que una cuarta parte del CO₂ emitida a la atmósfera es absorbida por el océano, generando cambios en la química del agua de mar, entre ellos, una disminución en el pH o nivel de acidez de esta. Según el Instituto Milenio de Oceanografía (IMO Chile, 2017), desde la Revolución Industrial el pH de los océanos ha caído desde 8,2 a 8,1. Sin embargo, si consideramos que la escala de pH es logarítmica, como la de los terremotos, este cambio aparentemente menor significa que el océano se torna un 30% más ácido que hace 200 años. Además, estudios recientes sugieren que esta tasa de acidificación se podría acelerar hacia finales de siglo, produciendo un impacto potencialmente catastrófico en los ecosistemas marinos. Actualmente existe un consenso indiscutible que, si las emisiones CO₂ siguen a la misma velocidad, la acidificación del océano podría afectar significativamente a muchas

especies marinas, ecosistemas, y los servicios ecosistémicos que nos proporcionan (e.g. pesca y acuicultura) y de los que dependemos (Cooley *et al.*, 2009).

Zonas de Mínimo de Oxígeno: Las zonas de mínimo oxígeno son masas de aguas con bajo contenido de oxígeno ($<0,5\text{ml/L}$) (Levin, 2002), que se encuentran a profundidades intermedias (norte de Chile entre 100 y 400 metros). Estas masas de agua se forman al entrar en contacto con la atmósfera, donde se saturan de oxígeno para luego descender y viajar por el océano. De ese modo, son masas de agua más antiguas y que llevan más tiempo sin tomar contacto con la superficie. Además, se agrega una gran cantidad de recursos naturales presentes en las zonas cercanas a la superficie y que generan materia orgánica. Esa materia orgánica, al sedimentar, consume más oxígeno, haciendo más baja aún su concentración.

Lamentablemente estas zonas se están expandiendo aceleradamente producto del cambio climático (Stramma *et al.*, 2010) con consecuencias negativas para la biodiversidad, recursos pesqueros y el funcionamiento de los ecosistemas e incluso llegando a generar "zonas muertas", exacerbadas por la eutrofización y la excesiva carga de nutrientes, donde la vida ya no se sustenta (Boesch *et al.*, 2008; Díaz y Rosenberg, 2008).

Figura N°2
Áreas hipóxicas y con bajos niveles de oxígeno en aguas costeras y oceánicas



Fuente: Modificado de Breitburg *et al.* (2018)

Varazones y varamientos masivos: Corresponden a mortalidades masivas de organismos invertebrados, peces, aves y mamíferos marinos, cada vez más habituales y que generalmente se observan en la costa. El animal puede llegar a la costa vivo o muerto, pero le será imposible regresar al mar por sus propios medios (Geraci y Lounsbury, 2005). Las razones que se asocian para explicar estos eventos tienen relación con la disminución repentina o ausencia de alimento, deficiencia de oxígeno, presencia de microalgas tóxicas en altas concentraciones, desorientación, contaminación y, en algunos casos, causas desconocidas. Cuando se ven comprometidos recursos pesqueros de importancia comercial los impactos económicos, sociales y ambientales pueden ser cuantiosos. En

la última década se ha podido establecer un importante aumento de este tipo de eventos, estableciéndose que el Cambio Climático y la pesca serían las principales causas. El registro permanente de estos eventos puede ser una herramienta invaluable para comprender no sólo los varamientos (en el caso de mamíferos marinos), sino también cambios en el ambiente marino (Aragonés *et al.*, 2010)

Organismos invasores: El concepto se refiere a aquellas especies biológicas no nativas (exóticas) que, al ser introducidas voluntaria o accidentalmente en un sistema, generan un daño económico a la salud humana (enfermedades) o al ecosistema en que habitan. Inicialmente la especie es transportada hacia una región receptiva donde no estaba registrada, quebrando una barrera geográfica. Posteriormente cuando la especie es independiente del subsidio humano y logra mantener una población estable y en expansión, es considerada una especie invasora (Jaksic y Castro, 2014). Según lo señalado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 1999) estas especies se constituyen en agentes de cambio y real amenaza para diversidad biológica nativa. Los organismos invasores pueden ser desde pequeñas bacterias hasta grandes mamíferos y en los últimos años han tomado real importancia en Chile. Según un estudio publicado por el Ministerio de Medioambiente (MMA, 2014), existen en Chile al menos 128 especies exóticas invasoras que están distribuidas a lo largo del territorio. De ellas 27 han sido priorizadas como de riesgo para la biodiversidad del país, como por ejemplo la avispa chaqueta amarilla, el didymo (o moco de roca), el visón, el castor, el espinillo alemán y la zarzamora.

5. Servicios ecosistémicos afectados por desastres naturales

En Chile entre el año 1900 y el año 2014 han ocurrido 102 desastres naturales de importancia. Entre ellos destacan los temporales, los cuales han causado 267 víctimas fatales y han afectado a más de 500 mil personas. De esta forma, los temporales (se incluyen las marejadas) son el tercer desastre natural más dañino, por sobre incendios forestales, actividad volcánica, deslizamiento de tierra, sequía y sucesos de temperatura extrema. En cambio, desde que se conocen las mareas rojas en Chile (1827), 34 personas han muerto por consumo de mariscos contaminados con toxina paralizante (CITUC, 2012).

Lo anterior refleja el impacto que puede tener un desastre natural en la población humana, sin embargo, en ambos casos la dimensión ecosistémica respecto del daño causado a sus componentes, procesos, funciones y servicios es materia aún pendiente en los estudios y análisis nacionales.

5.1 El Niño/La Niña, Oscilación del Sur

Las principales consecuencias de este fenómeno tienen relación con los cambios que genera en el clima y sus efectos directos e indirectos sobre ecosistemas costeros. El servicio de regulación climática experimenta una fuerte alteración al verse modificados los regímenes de vientos, los patrones de circulación oceánica y el debilitamiento del Anticiclón del Pacífico. El servicio de regulación de ciclos biogeoquímicos se altera observándose desbalances en el intercambio de CO₂ entre la atmósfera y el océano (Holmgren *et al.*, 2001). Una de las principales consecuencias del fenómeno

ENSO es el colapso de algunas pesquerías pelágicas y bentónicas (Arntz *et al.*, 2006), por lo tanto, el servicio de provisión de alimentos se ve fuertemente disminuido, con el correspondiente impacto social y económico. Los servicios de soporte asociados al ciclo de nutrientes y producción primaria (productividad) se alteran y disminuyen respectivamente, producto de los cambios en temperatura. El aumento de temperatura también explica la introducción de especies de aguas cálidas y la migración de otras hacia aguas más frías, modificándose las tramas tróficas locales. El servicio de soporte y provisión de hábitat se ve claramente afectado por la ausencia de macroalgas en ambientes rocosos. La ausencia de estos organismos deja los sustratos sin alimentos para organismos invertebrados, haciendo más difícil el reclutamiento de organismos sésiles que se viven sobre roca o arena (Riascos *et al.*, 2017), afectándose, además, el servicio de mantención de la biodiversidad. Los cambios climáticos acentuados por El Niño/La Niña (por ejemplo, aumento de precipitaciones o períodos de sequía) afectan los cultivos y las cosechas agrícolas en terrenos costeros, viéndose así afectado el servicio de provisión alimentaria (Nelson *et al.*, 2013). En este mismo sentido el servicio de suministro de agua para distintos fines (por ejemplo, consumo directo, recreación) y funciones de regulación como purificación, degradación de residuos y ciclos hidrológicos se verán afectadas en tiempo de sequía.

El Niño cumple un rol fundamental en los ecosistemas marinos templados y tropicales y en las economías que dependen de bienes y servicios costeros y oceánicos. Sin embargo, estos beneficios pueden dejar de obtenerse drásticamente en las próximas décadas debido a la cada vez mayor ocurrencia de este fenómeno (Rossi y Soares, 2017). Por ello una mejor cuantificación de los servicios ecosistémicos que no pueden ser valorizados directamente con un enfoque económico es necesaria (Paoli *et al.*, 2017).

5.2 Floraciones algales nocivas

El servicio ecosistémico de provisión alimentaria es, sin duda, el más afectado por las mareas rojas. Estos fenómenos oceanográficos, cada vez más recurrentes, han causado mortalidades masivas de peces nativos y de cultivo, moluscos y otros recursos marinos. También se ve afectado el servicio de Biodiversidad al registrarse mortalidad de invertebrados marinos, peces, aves y mamíferos marinos. Adicionalmente una mayor mortalidad de organismos puede generar una mayor carga orgánica al sistema (columna de agua y sedimentos marinos) pudiendo colapsar la función de absorción y detoxificación de residuos (servicio de regulación).

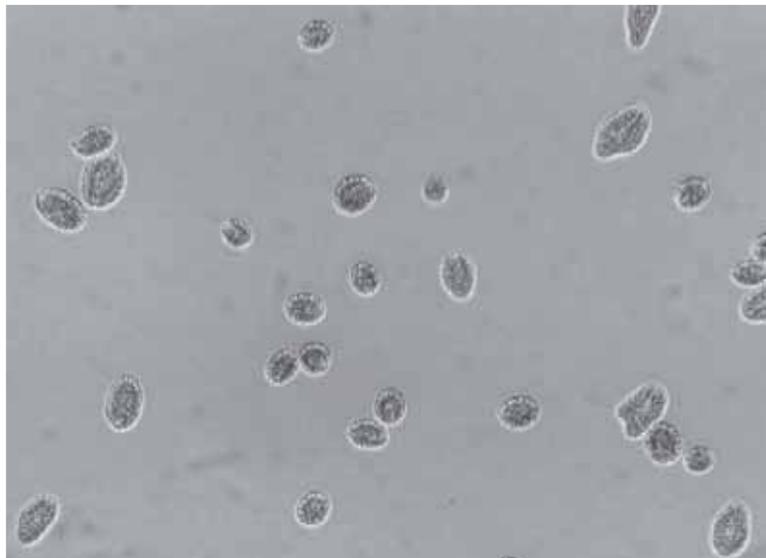
La presencia de "blooms" fitoplanctónicos en que millones de células proliferan, ocasiona reducción en las condiciones de luz en la columna de agua afectando al servicio de fotosíntesis (Soporte) y, por consiguiente, alteración en la producción primaria, producción secundaria y cadenas tróficas (Gundersen *et al.*, 2016). El servicio de soporte y apoyo relacionado con el ciclo de nutrientes, por ejemplo carbono, nitrógenos, silicatos, también se ve fuertemente influenciado por cambios en las condiciones de luz y radiación. La transmisión de toxinas vía consumo que pueden realizar peces y mamíferos marinos generándose enfermedades y muerte, pone de manifiesto la alteración que experimenta el servicio de regulación de control biológico natural que realiza el ecosistema marino (Bidle y Vardi, 2011).

La presencia de estos eventos al generar decoloración en el mar, varazones de organismos muertos en las playas (peces, invertebrados y algas), enfermedades respiratorias por la emisión de gases tóxicos y prohibición de pesca recreativa, también afecta a los servicios de recreación, turismo y estéticos disminuyendo la calidad del ambiente y ocasionando importantes pérdidas económicas (Anderson, 2007).

Sin embargo, estudios realizados por Bourdelais *et al.* (2004) reportan ciertos beneficios de las mareas rojas. Experimentos conducidos en ovejas con compuestos naturales producidos por mareas rojas (beta-Naphthoyl brevetoxina y brevenal) revelaron que ambos son capaces de bloquear los efectos de las toxinas en el sistema respiratorio. En este sentido, el servicio de provisión de compuestos químicos para uso farmacéutico se vería beneficiado.

Finalmente es importante mencionar que las floraciones algales, en general, son consideradas “indicadores ecológicos” que permiten evaluar la condición de un sistema y pueden verse altamente influenciadas producto del calentamiento global. Los estudios realizados por Gittings *et al.* (2018) sugieren que escenarios futuros de esta condición pueden tener un doble impacto sobre el crecimiento del fitoplancton en sistemas tropicales, registrándose una reducción en la abundancia de estas comunidades o alteraciones en la ocurrencia y duración de las floraciones estacionales.

Figura N°3
Pseudochattonella verruculosa. Microalga tóxica causante de la mortalidad de miles de salmones en el sur de Chile durante 2016



Fuente: Miriam Seguel, Universidad Austral de Chile

5.3 Acidificación del océano

La acidificación del mar puede afectar directamente a algunas especies marinas que entregan servicios de provisión. Crustáceos y moluscos sustentan importantes pesquerías comerciales y recreacionales y ecosistemas de arrecifes de coral albergan una amplia variedad de pesquerías de subsistencia, comerciales y recreacionales en el mundo (Bryant *et al.*, 1998). Pesquerías globales asociadas a arrecifes de coral están evaluadas en US\$5,7 billones anuales (Conservation International, 2008). Una disminución de las capturas debido a la acidificación resultaría en importantes pérdidas económicas.

Organismos calcificadores (con esqueleto de carbonato de calcio) suministran perlas, conchas y partes de coral para joyería. La disminución de poblaciones de pequeños calcificadores (pterópodos, larvas de moluscos) puede disminuir la abundancia de algunos peces comerciales o la diversidad de otras especies.

Se ha demostrado también que la acidificación de los océanos puede perjudicar el crecimiento del coral (Albright *et al.*, 2018), afectando de esta forma al servicio de hábitat y biodiversidad que brindan los arrecifes de coral.

Servicios ecosistémicos de regulación como la protección costera y la estabilización de litoral podrían verse comprometidos por la acidificación. Los arrecifes de coral amortiguan físicamente las zonas costeras del impacto de tormentas, marejadas y tsunamis, disminuyendo la energía y la destrucción que estas amenazas pueden generar. Sin la presencia de estas “barreras naturales”, las pérdidas económicas serían mayores y el desarrollo costero sería más costoso, requiriéndose muros y fortificaciones. La degradación costera y de ecosistemas coralinos altera significativamente los servicios culturales, turísticos, espirituales y estéticos principalmente en naciones insulares y subdesarrolladas.

Cambios en los servicios ecosistémicos marinos en respuesta a la acidificación marina podrían implicar nuevos costos a las actividades económicas, debido a la escasez de algunos recursos marinos de interés comercial o recreacional y los usuarios buscarían formas de mitigar estas consecuencias. Esta adaptación podría significar cambios en los consumos alimenticios, en el cultivo de nuevas especies menos afectadas por la acidificación o el traslado de centros de cultivo a zonas menos impactadas (Cooley *et al.*, 2009).

Los impactos de la acidificación oceánica sobre las zonas costeras y la fauna marina están comenzando a ser comprendidos. Nuevas tecnologías y avances, así como también esfuerzos multidisciplinarios entre científicos, administradores y modeladores serán requeridos para cuantificar los efectos de esta amenaza en la estructura, función, bienes y servicios de los ecosistemas marinos y costeros. Sin embargo, existe información suficiente para establecer con certeza que los impactos negativos en algunas especies marinas (ej. Moluscos) son inevitables y que alteraciones sustantivas de los ecosistemas marinos son probables para el próximo siglo (Fabry *et al.*, 2008).

5.4 Zonas de mínimo de oxígeno

El oxígeno es fundamental para los procesos biológicos y biogeoquímicos en el océano. Su disminución puede causar cambios mayores en los servicios ecosistémicos relacionados con la productividad, biodiversidad y ciclos biogeoquímicos. Este último aspecto, es fundamental para el servicio de regulación de nutrientes y del carbono. La expansión de estas zonas hacia los ambientes costeros ha ocasionado limitar la distribución y abundancia de poblaciones animales, afectando directamente a algunos recursos pesqueros (servicio de provisión de alimentos) y alterar el ciclo de importantes nutrientes como fósforo y nitrógeno (Breitburg *et al.*, 2018).

En el océano el calentamiento global es la causa primaria de la desoxigenación progresiva. El aumento de las temperaturas disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua, aumenta la tasa de consumo de oxígeno vía respiración y el ingreso de oxígeno desde la atmósfera y desde la superficie hacia las profundidades se reduciría. Esto obliga a la adaptación de organismos bentónicos que habitan los fondos marinos y que participan en procesos de remineralización, resuspensión, mezcla y oxigenación de sedimentos marinos (servicio y regulación) y, por lo tanto, en la formación de suelo marino (servicio de soporte).

En estuarios y sistemas costeros la disminución de oxígeno causada por un aumento en la carga orgánica originada por actividades agrícolas, aguas residuales y la combustión de petróleo, ha deteriorado fuertemente los servicios de provisión alimentaria, resiliencia, biodiversidad, hábitat y estéticos como el paisaje. Zonas con bajo oxígeno pueden aumentar la producción de N₂O (óxido nitroso); gas invernadero que reduce la biodiversidad eucariota y altera la estructura de las tramas tróficas (predación reducida) (Vaquer-Sunyer y Duarte, 2008) afectando negativamente la seguridad alimentaria.

Cuando la ausencia de oxígeno llega a ser más severa, persistente y expandida procesos y funciones del ecosistema marino-costero como la capacidad de sostener altas biomásas, ensamblajes animales diversos e incluso proveer servicios ecosistémicos se ve fuertemente disminuida.

Efectos biológicos relativos a la falta de oxígeno se reflejan en la alteración de funciones reproductivas, cambios en patrones migratorios, distribución espacial y cambios en hábitos tróficos entre otros. Por otra parte, condiciones de anoxia en los fondos marinos pueden dar lugar a la producción de quimiosíntesis y a procesos de desnitrificación (servicio de regulación), aumentando el suministro de fósforo y hierro (Scholz *et al.*, 2014) y favoreciendo la existencia de comunidades microbianas y de organismos especializados. Condiciones de baja concentración de oxígeno (hipoxia) debido a acumulación de residuos orgánicos en la costa pueden generar procesos de eutrofización afectándose los servicios de purificación del agua y remoción de sustancias tóxicas (Gundersen *et al.*, 2016).

Actualmente es imperativo y urgente el esfuerzo local y global para limitar la disminución de oxígeno, restaurar aquellos ecosistemas que tenían buenas condiciones y aumentar la resiliencia de zonas afectadas. En su nivel más básico, las acciones necesarias para conducir estos desastres

naturales son el control de la carga de nutrientes en aguas costeras y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, con beneficios sustanciales adicionales para la sociedad. Un mejor manejo de las pesquerías y de los hábitats marinos sensibles a los bajos niveles de oxígeno ayudará a proteger las economías, la seguridad alimentaria y los bienes y servicios que nos entregan.

5.5 Varazones y varamientos masivos

La ocurrencia de varazones y varamientos masivos principalmente en lo que respecta cetáceos, estaría relacionado con la variabilidad climática (Truchon *et al.*, 2013). Por otra parte, se han logrado determinar relaciones causa-efecto entre eventos de floraciones algales nocivas y varazones de invertebrados, peces y mamíferos marinos.

Independiente de la causa los eventos de esta naturaleza han tenido un aumento importante en las últimas décadas en la costa de Chile. Durante el año 2016 y de acuerdo a los registros del Servicio Nacional de Pesca, un total de 17 varazones han sido documentadas. Estos eventos han involucrado salmones, sardinas, camarones, jibias y machas entre otros organismos y se les asocia en algunos casos a la presencia de forzantes de gran escala, como el fenómeno de “El Niño”, que influirían en la disponibilidad de presas, especialmente para poblaciones de mamíferos marinos (Keledjian y Mesnick, 2013).

Los servicios ecosistémicos afectados son principalmente el de provisión de alimentos (recursos pesqueros) y materias primas: aceite y harina de pescado en el caso de varamientos de sardinas, jurel y anchoveta. En segundo término, se afecta la Biodiversidad y se alteran significativamente la productividad pelágica y bentónica del sistema, así como también las tramas tróficas.

Varamientos masivos incorporan una carga orgánica adicional en los ambientes costeros, ocasionando muchas veces eventos de contaminación local que alteran la capacidad natural que tienen estos ambientes de absorber y detoxificar residuos (servicio de regulación). La acumulación en altas densidades de estos organismos en playas de arena altera y puede impedir el servicio de oxigenación de sedimentos que realizan pequeños invertebrados y microorganismos. La muerte masiva de animales de mayor tamaño (cetáceos) en la zona costera y su posterior descomposición gatilla la emisión de gases tóxicos a la atmósfera, algunos de efecto invernadero (metano), alterándose el servicio de regulación climática a nivel local. Los cetáceos (delfines) juegan un importante rol en la regulación de las cadenas tróficas y su bienestar y condición es un importante indicador del estado de salud de los ecosistemas marinos (National Research Council, 2013).

Servicios culturales recreativos y turísticos, así como también estéticos (daño paisajístico), se ven perjudicados cuando playas y zonas litorales utilizadas para esparcimiento, descanso y goce, deben ser cerradas a los visitantes y bañistas producto de varamientos y varazones. Un ejemplo claro de ello es el efecto negativo que ha tenido la llegada a las costas de Chile del invertebrado pelágico conocido como Fragata portuguesa (*Physalia physalis*). La proliferación masiva y recurrente de esta “falsa medusa”, principalmente en la época estival, no sólo trae consecuencias negativas a las economías locales por el cierre de playas turísticas, sino que reviste un problema de salud pública

relevante al constituirse en un organismo tóxico y peligroso que puede llegar a causar la muerte con su contacto (Figura N°4).

La disminución y desaparición de especies “emblemáticas”, como por ejemplo ballenas y tiburones, podrían afectar los servicios culturales de tipo educacional, científico e inspiracional, considerando que algunas de ellas son parte de la tradición y del patrimonio cultural y natural de ciertas comunidades costeras.

Figura N°4
Fragata portuguesa (*Physalia physalis*) varada en una playa de Tocopilla, norte de Chile



Fuente: Seremi de Salud de Antofagasta

5.6 Organismos invasores

Los organismos invasores o las invasiones biológicas se constituyen actualmente en una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad en el planeta y, por lo tanto, de la extinción de especies. De hecho, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) las considera como uno de los principales factores de degradación y cambio de los ecosistemas. Adicionalmente el problema radica en que las especies invasoras, ya sea por liberación o escape accidental, logran naturalizarse y conformar poblaciones invasoras con efectos ecológicos, económicos y en la salud humana muchas veces incuantificables y desconocidos (Castillo, 2016).

Los bienes y servicios ambientales afectados por esta causa son la disminución de la capacidad para proveer recursos (servicio de provisión) o regular ciclos. Servicios culturales como la reducción de valor estético (daño paisajístico) también se ven fuertemente deteriorados. La presencia e interacción de nuevas especies, más aún si son predadores tope (por ejemplo el castor, el visón o el

jabalí), ocasionan importantes alteraciones de las tramas tróficas afectando la función de regulación natural que poseen los ecosistemas.

En términos ecológicos, se producen cambios en los patrones de distribución (migraciones, colonizaciones, asentamiento) de ciertas especies más vulnerables; relaciones intra e interespecíficas como competencia, predación y desplazamiento de nicho pueden experimentar un incremento significativo, ocasionando la disminución en las abundancias y densidades de importantes poblaciones y modificándose la estructura y función ecológica de las comunidades.

En este sentido, el servicio de provisión de recursos y de regulación biológica es gravemente afectado, ya que especies nativas son desplazadas, desaparecen y de esta forma dejan de entregar los beneficios que acostumbraban, así como también dejan de realizar las funciones y procesos fundamentales que desempeñaban en sus ecosistemas originales. Ejemplo de ello es lo que ha sucedido con el salmón versus peces nativos y el visón versus la nutria en el sur de Chile.

El servicio ecosistémico de regulación y control biológico es afectado al detectarse transmisión de nuevas enfermedades, pestes y la aparición de plagas, como también la producción de biotoxinas y alergias.

Los organismos invasores tienen la capacidad de alterar el hábitat, en algunos casos logrando inutilizar infraestructuras (*fouling*² en muelles) y, por lo tanto, la resiliencia de los ambientes en que viven (servicios de soporte). Plantas acuáticas invasoras (*Eichhornia crassipes*) que forman mantos flotantes pueden disminuir la abundancia de macroinvertebrados bloqueando la transmisión de luz, disminuyendo la fotosíntesis y pudiendo generar anoxia (Masifwa *et al.*, 2001). La producción primaria y procesos esenciales, como la polinización, pueden aumentar o disminuir si ciertas especies provocan cambios en los principales tipos de vegetación de un área (Ehrenfeld, 2003).

Plantas invasoras han demostrado alterar ciclos hidrológicos, generando cambios en las tasas y tiempos de evapotranspiración y escurrimientos y pudiendo incluso afectar el suministro y el proceso general de regulación del agua (Charles y Dukes, 2007). Ciclos de nutrientes y la fertilidad de suelos pueden también ser afectados por plantas que fijan nitrógeno, remueven químicos que inhiben la fijación de nitrógeno y por otras especies que emiten compuestos que alteran la disponibilidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Indirectamente se pueden ver afectadas funciones como la formación y erosión del suelo (Dukes y Mooney, 2004).

En el caso de Chile, los estudios sobre especies introducidas e invasoras, que generalmente no abordan los impactos sobre el ecosistema y sus procesos, se concentran principalmente en mamíferos terrestres y plantas (Quiroz *et al.*, 2009; Fuentes *et al.*, 2013), quedando mucho trabajo por hacer respecto del conocimiento de las invasiones marinas, que actualmente sólo dan cuenta de algunas especies de macroalgas e invertebrados (Villaseñor *et al.*, 2017). Considerando el alto nivel de daño que pueden generar algunas especies sobre los bienes y servicios ambientales de zonas costeras: por ejemplo, el salmón en términos biológicos y ecológicos (Sepúlveda *et al.*, 2013) y el Dydimio (*Didymosphenia geminata*) (Figura N°5) en términos paisajísticos, ecológicos y recreativos (Beamud *et al.*, 2013), urge la necesidad de orientar investigaciones con enfoques más integrativos.

Considerando el alto nivel de impacto que actualmente tienen las especies invasoras sobre la población humana, los servicios ecosistémicos y sus economías, investigadores han desarrollado un nuevo esquema de evaluación del riesgo para especies invasoras que predice los efectos directos en la biodiversidad y los impactos en los servicios ecosistémicos (Gilioli *et al.*, 2014).

Figura N°5
Dydimo (*Dydimosphenia geminata*) en un río de la Patagonia de Chile



Fuente: Universidad de Magallanes

6. Consideraciones finales

Las zonas costeras desde siempre han estado amenazadas por una diversidad de factores, que hoy se consideran importantes generadores de cambio de los ecosistemas, y que han evolucionado en el tiempo. Desde el aumento demográfico en un comienzo hasta el actual y cada vez más evidente cambio climático, las consecuencias en infraestructura, población humana y sobre todo en el estado y salud de los ecosistemas, son cada vez más catastróficas y ya no pueden quedar sólo en el análisis y en el diagnóstico.

Como una forma de llamar la atención de autoridades, políticos, economistas y tomadores de decisión han surgido en las últimas dos décadas las valorizaciones monetarias de los ecosistemas (Costanza *et al.*, 1997; Barbier *et al.*, 2011), que han permitido dimensionar en parte lo que las naciones dejarían de percibir o podrían llegar a perder ante el deterioro y pérdida concreta de un ecosistema. Estimaciones realizadas por de Groot *et al.* (2012) basadas en los usos directos e indirectos, de opción y de existencia, han estimado que el valor monetario promedio de los servicios para sistemas costeros globales (se incluyen estuarios, plataforma continental y pastos marinos y se excluyen humedales, manglares y lagunas saladas costeras) sería de 28.917 dólares internacionales por hectárea

por año (precio dólar de referencia año 2007). Sin embargo, estas estimaciones no están exentas de críticas por las metodologías empleadas, por los tipos de valores considerados, porque algunos ecosistemas costeros han sido más estudiados (manglares y arrecifes de coral) o porque algunos servicios ecosistémicos, como los de recreación y turismo o el de protección contra tormentas, revisten actualmente mayor preocupación (Mehvar *et al.*, 2018).

Los estudios sobre servicios ecosistémicos en Chile son escasos, más aún en lo que a sistemas costero-marinos se refiere (Bachmann, 2013) y con énfasis en las valorizaciones y estudios de mapeo (De la Barrera *et al.*, 2015). La oportunidad de abordar la problemática de los desastres naturales bajo esta perspectiva es claramente un desafío, ya que muchos ambientes y ecosistemas en Chile ni siquiera han sido adecuadamente caracterizados (Patagonia, islas oceánicas), desconociéndose primariamente sus componentes fundamentales y, por lo tanto, sus funciones, procesos y servicios ambientales. El manejo integrado de las amenazas naturales y sus consecuencias catastróficas, que hoy afectan a las zonas costeras, requiere una perspectiva ecológica y ecosistémica en la reducción del riesgo de desastres (Eco-DRR; Kitazato *et al.*, 2019). Esto significa mejor gestión y mayor inversión, pero por sobre todo un mayor conocimiento científico de los ecosistemas y su adecuada difusión hacia la sociedad.

Referencias bibliográficas

ALBRIGHT, R., TAKESHITA, Y., KOWEEK, D. A., NINOKAWA, A., WOLFE, K., RIVLIN, T., NEBUCHINA, Y., YOUNG, J., CALDEIRA, K. Carbon dioxide addition to coral reef waters suppresses net community calcification. *Nature Research Letter*, 2018, N° 555, p. 516-519.

ANDERSON, D. M. The ecology and oceanography of harmful algal blooms: multidisciplinary approaches to research and management. Intergovernmental Oceanographic Commission. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2007.

AQUA. 2016. <http://www.aqua.cl/2016/03/23/algas-nocivas-provocaron-perdidas-por-us43-millones-a-aquachile/>

ARAGONÉS, L. V., ROQUE, M. A. FLORES, M. B. ENCOMIENDA, R. P., LAULE, G. E., ESPINOS, B. G., MANIAGO, F. E., DIAZ, G. C., ALESNA, E. B., BRAUN, R. C. The Philippine Marine mammal strandings from 1998 to 2009: Animals in the Philippines in Peril? *Aquatic Mammals*, 2010, N° 36(3), p. 219-233.

ARNTZ, W. E., GALLARDO, V. A., GUTIÉRREZ, D. El Niño and similar perturbation effects on the benthos of the Humboldt, California, and Benguela current upwelling ecosystems. *Advances in Geosciences*, 2006, N° 6, p. 243-265.

BACHMANN-VARGAS, P. Ecosystem services modeling as a tool for ecosystem assessment and support for decision making process in Aysén region, Chile (Northern Patagonia). Master thesis. Master of Science Environmental Management, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Alemania, 2013

BARBIER, E. B., HACKER, S. D., KENNEDY, C., KOCH, E. W., STIER, A. C., SILLIMAN, B. R. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 2011, N° 81, p. 169-193.

BEAMUD, G., BAFFICO, G., PEDROZO, F., DÍAZ, M. First record of the invasive algae *Didymosphenia geminata* in the Lake Nahuel Huapi: Argentina, Patagonia. *Revista Chilena de Historia Natural*, 2013, N° 86, p. 493-496.

BEAUMONT, N. J., AUSTEN, M. C., ATKINS, J. P., BURDON, D., DEGRAER, S., DENTINHO, T. P., DEROUS, S., HOLM, P., HORTON, T., VAN IERLAND, E., MARBOE, A. H., STARKEY, D. J., TOWNSEND, M., ZARZYCKI, T. Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: implications for the ecosystem approach. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, N° 54 (3), p. 253-265.

BIDLE, K. D., A. VARDI. A chemical arms race at sea mediates algal host-virus interactions. *Current Opinion in Microbiology*, 2011, N° 14, p. 449-457.

BOESCH, D. Global warming and coastal dead zones. *National Wetlands Newsletter*, 2008, N° 30(4), p. 11-14.

BOURDELAIS, A. J., CAMPBELL, S., JACOCKS, H., NAAR, J., WRIGHT, J. L. C., CARSI, J., BADEN, D. G. Brevetoxin is a natural inhibitor of brevetoxin action in sodium channel receptor binding assays, *Cellular and Molecular Neurobiology*, 2004, N° 24(4), p. 553-563.

BREITBURG, D., LEVIN, L. A., OSCHLIES, A., GRÉGOIRE, M., CHAVEZ, F. P., CONLEY, D. J., GARÇON, V., GILBERT, D., GUTIÉRREZ, D., ISENSEE, K., JACINTO, G. S., LIMBURG, K. E. MONTES, I., NAQVI, S., PITCHER, G. C., RABALAIS, N. N., ROMAN, M. R., ROSE, K.A. SEIBEL, B. A., TELSZEWSKI, M., YASUHARA, M. y ZHANG, J. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 2018, N° 359, p.6371. eaam7240. DOI 10.1126/science.aam7240.

BRYANT, D., BURKE, L., MCMANUS, J., SPALDING, M. Reefs at Risk: A map-based indicator of threats to the world's coral reefs. Washington DC: World Resources Institute, 1998.

BUSCHMANN, A., FARIAS, L., APIA, F., VARELA, D., VÁSQUEZ, M. Comisión Marea Roja. 2016.

CASTILLO, S. Introducción intencional de fauna exótica y futuros invasores: ¿Seguimos tropezando con la misma piedra una y otra vez? *Bosque*, 2016, N° 37(2), p. 237-241. DOI 10.4067/S0717-92002016000200002.

CASTRO, C., ALVARADO, C. *La Gestión del Litoral Chileno: Un Diagnóstico*, 2009. Disponible en <http://146.155.48.139/gestioncostera/pdf/Redlbermar.pdf>.

CHARLES, H., DUKES, J. Impacts of invasive species on ecosystem services ecological studies. En NENTWIG W. (Ed.) *Biological Invasions*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, p. 217-237.

CITUC. Centro de Información Toxicológica. *Informe Marea Roja*. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012.

COMISIÓN NACIONAL PARA LA RESILIENCIA FRENTE A DESASTRES DE ORIGEN NATURAL, CREDEN. *Hacia un Chile resiliente frente a desastres: Una oportunidad*. Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo, 2016.

CONSERVATION INTERNATIONAL. *Economic values of coral reefs, mangroves, and seagrasses: A global compilation*, Arlington, VA, USA, 2008.

COOLEY, S., HAUKE L., KITE-POWEL L., DONEY, S.C. Ocean acidification's potential to alter global marine ecosystem services. *Oceanography*, 2009, N° 22(4), p. 172-181.

COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R.S., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, M., LIMBURG, K., NAEEM, S O'NEILL, R. V., PARUELO, J., ASKIN, R. G., SUTTON, P., VAN DEN BELT. M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, N° 387, p. 253-260.

COSTANZA R., DE GROOT, R., SUTTON, P., VAN DER PLOEG, S., ANDERSON, S., KUBISZEWSKI, I., FARBER, S., TURNER, R. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, N°26, p. 152-158.

DE GROOT, R., JAX, K., HARRISON, P. Links between Biodiversity and Ecosystem Services. 2016. En POTSCHIN, M., JAX, K. (eds): *OpenNESS Ecosystem Services Reference Book*. EC FP7 Grant Agreement no. 308428. Consultado en <http://www.openness-project.eu/library/reference-book>.

DE GROOT, R., LUKEBRANDER, A. N., VAN DER PLOEG, S., COSTANZA, R., BERNARD, F., BRAAT, L., CHRISTIE, M., CROSSMAN, N., GHERMANDI, A., HEIN, L., HUSSAIN, S., KUMAR, P., MCVITTIE, A., PORTELA, R., RODRÍGUEZ, L., TEN BRINK, VAN BEUKERING, P. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem services*, 2012, N° 1, p. 50-61.

DAILY, G. C., ALEXANDER, S., EHRLICH, P. R., GOULDER, L., LUBCHENCO, J., MATSON, P. A., MOONEY, H. A., POSTEL, S., SCHNEIDER, S. H., TILMAN, D. y WOODWELL, G. M. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, 1997, N° 2, p. 1-12, doi: 1092-8987.

DE LA BARRERA, F., BACHMANN, P., TIRONI, A. La investigación de servicios ecosistémicos en Chile: una revisión sistemática. *Investigaciones Geográficas*, 2015, N°50, p. 3-18.

DÍAZ, R. J., ROSENBERG, R. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems, *Science*, 2008, N° 321, p. 926-929.

DUKES J. S., MOONEY, H. A. Disruption of ecosystem processes in western North America by invasive species. *Revista Chilena de Historia Natural*, 2004, N° 77, p. 411-437-

EHRENFELD, J. G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes. *Ecosystems*, 2003, N° 6, p.503-523.

EL COMERCIO, 2017. <http://www.elcomercio.com/actualidad/seguros-balance-perdidas-economicas-desastresnaturales.html>.

ESPINOZA-MORRIBERON, D., ECHEVIN, V., COLAS, F., TAM, J., LEDESMA, L., VÁSQUEZ, L., GRACO, M. Impacts of El Niño events on the Peruvian upwelling system productivity, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2017, N° 122, p. 5423-5444. DOI 10.1002/ 2016JC012439.

FABRY, V. J., SEIBEL, B. A., FEELY, R. A., ORR, J. C. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 2008, N° 65, p. 414-432.

FISHER, B., TURNER, K., MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 2009, N° 3, p. 643-653.

FUENTES, N., PAUCHARD, A., SÁNCHEZ, P., ESQUIVEL, J., MARTICORENA A. A new comprehensive database of alien plant species in Chile based on herbarium records. *Biological Invasions*, 2013, N° 15, p. 847-858. DOI 10.1007/s10530-012-0334-6.

GERACI, J. R., LOUNSBURY, V. J. (Eds.). *Marine mammals ashore: A field guide for strandings* (2nd ed.). College Station: Texas A&M University Sea Grant College Program, 2005.

GILIOLI, A., SCHRADER, G., BAKER, R. H. A., CEGLARSKA, E., KERTÉSZ, V.K., LÖVEI, G., NAVAJAS, M., ROSSI, V., TRAMONTINI, S., VAN LENTEREN, J. C. Environmental risk assessment for plant pests: A procedure to evaluate their impacts on ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 2014, p. 475-486. DOI 10.1016/j. scitotenv.2013.08.068.

GITTINGS, J. A., RAITOS, D. E. KROKOS, G., HOTEIT, I. Impacts of warming on phytoplankton abundance and phenology in a typical tropical marine ecosystem. *Nature. Scientific Reports*, 2018, N°8, p. 2240. DOI 10.1038/s41598-018-20560-5.

GRANEK, E. F., POLASKY, S., KAPPEL, C. V., REED, D.J., STOMS, D. M., KOCH, E.W., KENNEDY, C. J., CRAMER, L. A., HACKER, S. D. BARBIER, E. B., ASWANI, S., RUCKELSHAUS, M., PERILLO, G., SILLIMAN, B. R., MUTHIGA, N., BAEL, D., WOLANSKI, E. Ecosystem services as a common language for coastal ecosystem-based management. *Conservation Biology*, 2010, N° 24(1), p. 207-216.

GUNDERSEN, H., BRYAN, T. CHEN, W. MOY, F. E., SANDMAN, A. N., SUNDBLAD, G., SCHNEIDER, S., ANDERSEN, J. H., LANGAAS, S., WALDAY, M. G. *Ecosystem Services*. In the Coastal Zone of the Nordic Countries. Nordic Council of Minister, 2016.

HOLMGREN, M., SCHEFFER, M., EZCURRA, E., GUTIÉRREZ, J. R., MOHREN, G. M. J. El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology y Evolution*, 2001, N°16(2), p. 89-94.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION NATURE (IUCN). *Especies invasoras exóticas*. Cuarta Reunión del órgano subsidiario de asesoramiento científico, técnico y tecnológico, 1999, Montreal.

INSTITUTO MILENIO DE OCEANOGRAFIA (IMO). Boletín N°4 del Instituto Milenio de Oceanografía IMO. 2017. www.imo-chile.cl

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. 2007. Consultado en www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4_syr.pdf.

JAKSIC F. M., CASTRO, S. A. *Invasiones biológicas en Chile: Causas globales e impactos locales*. 2014, Santiago, Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile.

KELEDJIAN A., MESNICK, S. The impacts of El Niño conditions on California Sea Lion (*Zalophus californianus*) Fisheries Interactions: Predicting Spatial and Temporal Hotspots Along the California Coast. *Aquatic Mammals*, 2013, 39(3), p. 221-232. DOI 10.1578/AM.39.3.2013.221.

KITAZATO, H., MATSUDA, O., SOTO, E., KUANUI, P., WIBISONO, Y., YASUKAWA, S., OKI, Y. Ecosystem-based Disaster Reduction (Eco-DRR): Toward Better Restoration of Coastal Environments, Resources and Livelihoods from big earthquake and tsunamis. *Geophysical Research Abstract*, 2018, Vol.20, EGU 2018-2873-1.

LEVIN, L. A. Deep-ocean life where oxygen is scarce. *American Scientist*, 2002, N° 90, p. 436-444.

MASIFWA, W. F., TWONGO, T., DENNY, P. The impact of water hyacinth, *Eichhornia cras-sipes* (Mart) Solms on the abundance and diversity of aquatic macroinvertebrates along the shores of northern Lake Victoria, Uganda. *Hydrobiologia*, 2001, N° 452, p.79-88.

MEHVAR, S., FILATOVA, T., DASTGHEIB, A., DE RUYTER VAN STEVENINCK, E., RANASINGHE, R. Quantifying economic value of coastal ecosystem services: A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2018, N° 6, p. 5. DOI 10.3390/jmse6010005.

MILLENNIUM ECOSYSTEMS ASSESSMENT (MEA). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington DC: Island Press, 2005.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). *Implementación de la estrategia nacional integrada para la prevención, el control y/o erradicación de las especies exóticas invasoras. Documento 1: propuesta preliminar de lineamientos estratégicos, objetivos y acciones para un plan de implementación de la estrategia*. 2014, Santiago, Chile.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *An Ecosystem Services Approach to Assessing the Impacts of the Deepwater Horizon Oil Spill in the Gulf of Mexico*. Washington, DC: The National Academic Press, 2013. Consultado en <https://doi.org/10.17226/18387>.

NELSON, E. J., KAREIVA, P., RUCKELSHAUS, M., ARKEMA, K., GELLER, G., GIRVETZ, E., GOODRICH, D., MATZEK, V., PINSKY, M., REID, W., SAUNDERS, M., SEMMENS, D., TALLIS, H. Climate change's impact on key ecosystem services and the human well-being they support in the US. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2013, N°11(9), p. 483-493. DOI 10.1890/120312.

OERDER, V., COLAS, F., ECHEVIN, V., CODRON, F., TAM, J., BELMADANI, A. Peru-Chile upwelling dynamics under climate change. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 2015, N°120, p.1152-1172. DOI 10.1002/2014JC010299.

PAOLI, C., MONTEFALCONE, M., MORRI, C., VASALLO, P., BIANCHI, C. K. Ecosystem functions and services of the marine animal forests. En ROSSI, S et al. (eds), *Marine animal forests: The ecology of Benthic Biodiversity Hotspots*, 2017, p. 1271-1312. DOI 10.1007/978-3-319-17001-5_35-1.

QUIROZ, C., PAUCHARD, A., CAVIERES, L.A., ANDERSON, C. B. Análisis cuantitativo de la investigación en invasiones biológicas en Chile: tendencias y desafíos. *Revista Chilena de Historia Natural*, 2009, N°82, p. 497-505.

RIASCOS, J. M., SOLÍS, M. A., PACHECO, A. S., BALLESTEROS, M. Breaking out of the comfort zone: El Niño-Southern Oscillation as a driver of trophic flows in a benthic consumer of the Humboldt Current Ecosystem. *Proceedings of Biological Sciences*, 2017, N°28, n.1857. DOI 10.1098/rspb.2017.0923.

RODRIGUEZ L., CURETTI, G., GAREGNANI, G., GRILLI, G., PASTORELLA, F., PALETTO, A. La valoración de los servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales: un caso de estudio en Los Alpes Italianos. *Bosque*, 2016, N° 37(1), p. 41-52.

ROSSI, S., DE OLIVEIRA SOARES, M. Effects of El Niño on the coastal ecosystems and their related services. *Mercator Fortaleza*, 2017, N°16, e16030. DOI <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16030>.

SCHOLES, R. J. Climate change and ecosystem services. *WIREs Clim Change*, 2016, N° 7, p.537-550. DOI 10.1002/wcc.404.

SCHOLZ, F., MCMANUS, J., MIX, A. C. HENSEN, C., SCHNEIDER, R. R. The impact of ocean deoxygenation on iron release from continental margin sediments. *Nature Geosciences*, 2014, N° 7, p. 433-437. DOI 10.1038/ngeo2162.

SEPÚLVEDA M., ARISMENDI, I., SOTO, D., JARA, F., FARIAS, F. Escaped farmed salmon and trout in Chile: Incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. *Aquaculture Environment Interactions*, 2013, N° 4, p. 273-283.

SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DE CHILE (SHOA). 2008. www.shoa.cl.

STRAMMA, L., SCHMIDTKO, S., LEVIN, L. A., JOHNSON, G. C. Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts, *Deep-Sea Research I*, 2010, N° 57, p. 587-595.

SUKHDEV P., WITTMER, H., MILLER, D. The Economics of Ecosystems and biodiversity (TEEB): Challenges and Responses. En D. HELM y C. HEPBURN (eds.), *Nature in the Balance: The Economics of Biodiversity*. Oxford: Oxford University Press, 2014. Disponible en <http://img.teebweb.org/wpcontent/uploads/2014/09/TEEB-Challenges-and-Responses.pdf>.

TRUCHON, M.H., MEASURES, L., L'HEERAULT, V., BRETHES, J. C., GALBRAITH, P. S., HARVEY, M., LESSARD, S., STARR, M., LECOMTE, N. Marine Mammal Strandings and Environmental Changes: A 15-Year Study in the St. Lawrence Ecosystem. *PLoS ONE*, 2013, N° 8(3): e59311. DOI 10.1371/journal.pone.0059311.

United Nations Office for Disasters Risk Reduction (unisdr), Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, United Nations, 2015.

VAQUER-SUNYER, R., DUARTE, C. M. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 2008, N° 105, p. 15452-15457. DOI 10.1073/pnas.0803833105;pmid: 18824689.

VÁSQUEZ, E. Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2016, N°63, p. 63-86.

VILLASEÑOR-PARADA, C., PAUCHARD, A., MACAYA, E. C. Ecología de invasiones marinas en Chile continental: ¿Qué sabemos y que nos falta por saber? *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 2017, N° 52(1), p. 1-17. DOI 10.4067/S0718-19572017000100001.

www.aqua.cl. Revista Aqua. Visitado el 16 de marzo de 2018 <http://www.aqua.cl/2016/03/01/bloom-de-algas-genera-perdidas-por-mas-de-us40-millones-a-salmonicultoras-del-barrio-2/>.

Notas

1. Biólogo Marino, Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales, Centro de Observación Marino para estudios de Riesgos del Ambiente Costero Universidad de Valparaíso. E-mail: eulogio.soto@uv.cl.
2. Fouling: Acumulación de organismos marinos sobre superficies sólidas alterando la función de éstas.

El GEOlibro “La zona costera en Chile: adaptación y planificación para la resiliencia” es un esfuerzo académico del Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, la Cátedra UNESCO-Cousteau “Formación de especialistas en Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sustentable de la Zona Costera” y el Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres, CIGIDEN (CONICYT/FONDAP/15110017), cuyo propósito es apoyar el diagnóstico sobre el estado de conservación actual de la zona costera en Chile y motivar la discusión sobre la necesidad de una nueva gobernanza capaz de hacer frente a los desafíos de adaptación en contexto de Cambio Climático.

Este GEOlibro compila a través de 16 artículos, los resultados de investigación de destacados especialistas nacionales e internacionales sobre la zona costera, los cuales abordan desde una visión interdisciplinaria, las amenazas y riesgos costeros, los problemas de antropización de la costa y el rol de la planificación territorial en la gestión integrada de áreas litorales. Este conocimiento actualizado sobre la dinámica de la zona costera y los problemas territoriales que presenta, se espera sirva para relevar la importancia de proteger la diversidad de ambientes costeros y que actualmente se encuentran amenazados o degradados por diversas actividades antrópicas poco reguladas y de regulación poco efectiva.



INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
FACULTAD DE HISTORIA, GEOGRAFÍA
Y CIENCIA POLÍTICA



CIGIDEN



Organización de las Naciones Unidas
para la Educación, la Ciencia y la Cultura
Cátedra UNESCO-Cousteau / Chile
Formación en Especialistas en Ordenamiento y
Desarrollo Sustentable de la Zona Costera



OBSERVATORIO
DE LA COSTA

ISBN: 978-956-14-2442-5



9 789561 424425