

ARTÍCULOS



BOLETÍN CIENTÍFICO TECNOLÓGICO

ACADEMIA POLITÉCNICA MILITAR

EROSIÓN COSTERA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE

SR. JUAN CARLOS PASTENE

SR. ALEXANDER SIEGMUND



EROSIÓN COSTERA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO,* CHILE

Sr. Juan Carlos Pastene¹

Sr. Alexander Siegmund²

Resumen: *la erosión costera es un proceso natural y constante que ha contribuido a la formación de las actuales líneas de costa a nivel mundial. Sin embargo, hoy en día este proceso se intensifica, debido al cambio climático global. El aumento del nivel del mar ha sido considerado la mayor amenaza para los asentamientos humanos emplazados en la costa. La Región del Biobío se caracteriza por una fuerte concentración de población y actividades económicas a lo largo del eje costero. La costa regional está expuesta constantemente a procesos erosivos, los que deben abordarse con medidas estructurales y no estructurales. A partir de la caracterización de los accidentes geográficos costeros de la Región del Biobío, el objetivo del presente artículo es demostrar la necesidad de establecer políticas públicas preventivas para la adaptación a la erosión costera y al cambio climático.*

Palabras clave: *costa, erosión costera, cambio climático, aumento del nivel del mar, adaptación.*

Abstract: *coastal erosion is a natural and continual process that has contributed to the formation of current coastlines worldwide. However, today this process is intensified due to global climate change. The rising sea level has been regarded as the greatest threat to coastal human settlements. The Biobío Region is characterized by a high concentration of population and economic activities along the coastal area. The regional coast, due to its geographical location, it is constantly exposed to erosive processes which must be addressed with structural and non-structural measures. From the characterization of the Biobío Region's geographic coastals accidents, the purpose of the present article is to*

* Para efectos de esta revisión crítica la Región del Biobío corresponde a la unidad político-administrativa previa al 6 de septiembre de 2018.

1 Geógrafo M.Sc. Heidelberg University of Education & Heidelberg University, juan.pastene@uniheidelberg.de

2 Prof. Dr. Heidelberg University of Education & Heidelberg University.



show the need to establish preventive public policies for adaptation to erosion and climate change.

Keywords: *coast, coastal erosion, climate change, sea level rise, adaptation.*

1. INTRODUCCIÓN

La zona costera se asocia a cambios continuos que siempre han existido y que han configurado un “área ambiental compleja de gran importancia para la sociedad. No obstante, esta área establece restricciones y riesgos para el hombre y sus construcciones” (Strahler A.N. & Strahler A.H., 1994, p. 330). A este respecto, “la tendencia a considerar la zona costera como una zona estática y estable a lo largo del tiempo ha conducido a desestimar su fragilidad” (D’Amico, 2009, p. 171), lo que ha provocado que, desde mediados del siglo XX, aumente el impacto de las actividades humanas diariamente, producto del desarrollo económico y la explotación de la costa (Cai, Su, Liu, Li & Lei, 2009).

Las áreas costeras son espacios de intensa urbanización y donde coexisten actividades económicas de diversa naturaleza que proporcionan condiciones específicas factibles para ser valoradas por la sociedad como recurso. Actualmente, alrededor del “40% de la población mundial vive a menos de 60km de la costa, cifra que se eleva al 60% en América Latina y el Caribe” (PNUMA, 2000, 2004, en D’Amico, 2009, p. 171).

La costa es un área dinámica donde la erosión tiene lugar constantemente. Esto incluye la pérdida o el desplazamiento de tierra a lo largo del litoral, donde las causas involucran procesos naturales y antropogénicos (O’Neill Jr., 1985). Actualmente “las consecuencias de la erosión costera se han vuelto cada vez más desastrosas, debido al crecimiento de la población, edificios, transporte y la infraestructura de servicios públicos que residen a lo largo de la costa”.(Luther, 2013, p. 3). Además la erosión costera se ve incrementada con las condiciones actuales del cambio climático global, poniendo en peligro la capacidad a largo plazo de las áreas costeras para adaptarse, particularmente, con la mayor frecuencia de huracanes, tormentas e inundaciones (Cai et al., 2009).

Estudios realizados por el IPCC (2007) consideran que el número anual de víctimas producto de la erosión actual y las inundaciones costeras alcanzará los 158.000 habitantes en 2020 y más de la mitad de los humedales eventualmente desaparecerán, debido al aumento del nivel del mar. Consecuentemente “los severos problemas de erosión costera observados durante el siglo XX se exacerbarán en el siglo XXI bajo escenarios plausibles de calentamiento global” (Zhang, Douglas & Leatherman, 2004, p. 41).

2. ÁREA DE ESTUDIO

La Región del Biobío se localiza entre los 36°00' y 38°29' de latitud sur y entre los 70°59' de longitud oeste y el océano Pacífico, en el centro sur de Chile, y se caracteriza por una fuerte concentración de población en la zona costera continental, interviniendo más de 500 km de costa continental e insular. Actualmente más del 50% de la población regional vive en las 15 comunas que constituyen el área costera. Aquí también se inserta la segunda aglomeración urbana más poblada de Chile, el Área Metropolitana de Concepción, el polo de desarrollo más importante de la Región (Figura N° 1 a).

Esta área corresponde a una costa de colisión originada por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana, cercana y paralela a la gran fosa chileno-peruana, caracterizada por la frecuencia y magnitud de fuertes terremotos y, generalmente, por una alta energía de las olas que golpean la costa (CONA, 2010).

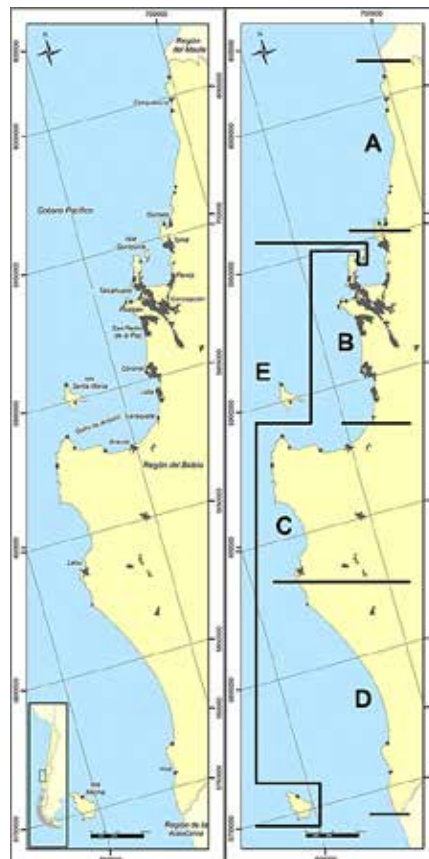


Figura N° 1: (a) Asentamientos urbanos y (b) zonificación morfológica propuesta por Mardones *et al.* (2001).

Fuente: elaboración propia.



Mardones, Hernández, Cristo, Sánchez, Carrasco, Millán & Peña (2001) sugieren una zonificación de la franja costera de acuerdo con su homogeneidad morfológica resultante de la interacción de procesos tectónicos, litológicos, fluviales y marinos, a partir de lo cual proponen cinco unidades principales (Figura N° 1 b): (A) franja recta del sector norte de Dichato, (B) costa de bahías cerradas entre Coliumo y Laraquete, (C) plataforma costera de Arauco, (D) llanura costera del sector sur de Lebu y (E) los sistemas naturales insulares.

Las condiciones climáticas de la franja costera se caracterizan por la transición en dirección norte-sur entre las condiciones del dominio mediterráneo y las del dominio templado húmedo, produciendo abundancia de lluvia durante el invierno y un verano seco. Además en dirección oeste-este se registra un fuerte gradiente de lluvia producto del efecto de choque de vientos húmedos con la Cordillera de la Costa.

3. LA AMENAZA DE LA EROSIÓN COSTERA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El desarrollo en áreas costeras ha tenido un impacto importante en la dinámica del entorno natural. Sin embargo, las variables naturales también afectan su estado morfodinámico, generando riesgos, ya que “los sistemas geomorfológicos costeros están constantemente expuestos a la erosión y la deposición a medida que se adaptan a los cambios ambientales” (O’Connor, Lymbery, Cooper, Gault & McKenna, 2009, p. 923).

Tal como indica la Comisión Europea:³ “la erosión costera es un proceso natural que siempre ha existido y que ha dado forma a las costas a lo largo de la historia, pero ahora está claro que su dimensión está lejos de ser la natural” (European Commission, 2005, p. 3). A pesar de que existen múltiples precedentes de intentos de revertir esta situación, la erosión antropogénica puede contribuir a comprometer a largo plazo la capacidad de las áreas costeras para adaptarse a los impactos del cambio climático global, particularmente por el aumento del nivel del mar y el aumento de la severidad y frecuencia de los temporales (Figura N° 2).

El potencial aumento del nivel del mar asociado a los cambios climáticos ha sido considerado la mayor amenaza para las ciudades ubicadas en islas o regiones costeras, “fuera del problema evidente de la pérdida de territorio, hay problemas de intrusión salina y contaminación de recursos hídricos con agua de mar” (Cifuentes & Meza, 2008, p. 9).

3 www.ec.europa.eu



Erosión costera y cambio climático en la Región del Biobío, Chile

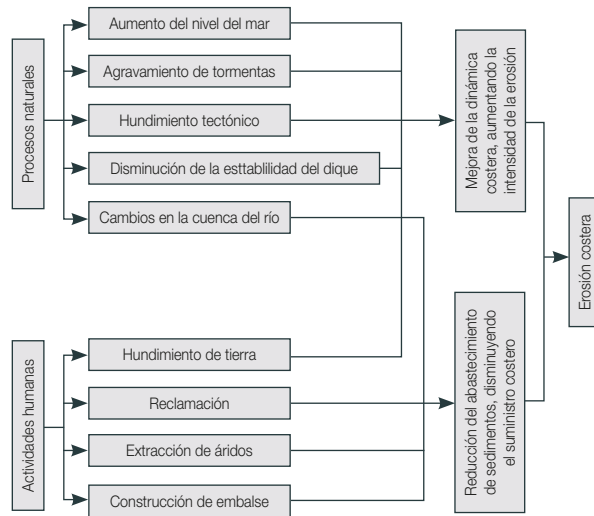


Figura N° 2: “Principales causas de la erosión costera”.

Fuente: Modificado de Cai *et al.*, 2009, p. 417.

La erosión costera en el contexto del cambio climático global es un problema que tiene dimensiones múltiples y tiene un alto nivel de complejidad (Figura N° 3). Considerando esto, “tempranamente los gobiernos e investigadores comenzaron a hablar de adaptación, que si bien no es la única vía de acción, probablemente sea la más razonable en términos de la alta probabilidad de sufrir un cambio en las condiciones del clima” (Cifuentes & Meza, 2008, p. 10).

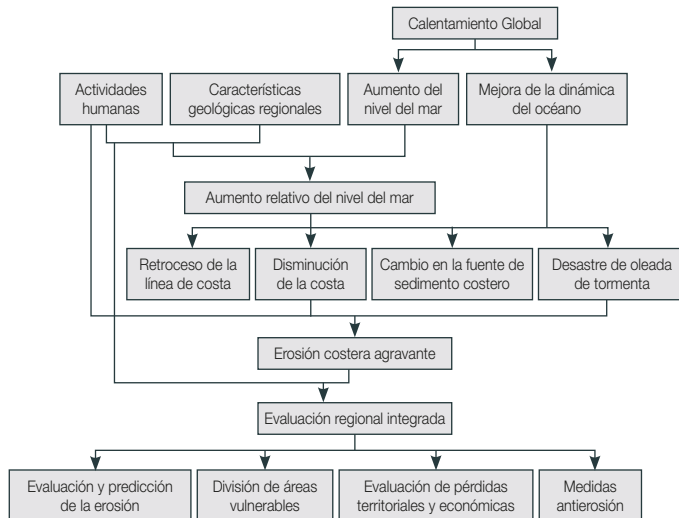


Figura N° 3: “Efectos del cambio climático en la erosión costera y su evaluación y prevención”.

Fuente: Modificado de Cai *et al.*, 2009, p. 419.



A diferencia de la naturaleza, donde la adaptación solo es reactiva, las sociedades pueden desarrollar estrategias de anticipación y reacción utilizando la información disponible y la vulnerabilidad de los sectores expuestos, ajustando sus sistemas ecológicos, sociales y económicos (IPCC, 2001).

Existen dos tipos de medidas de adaptación para controlar la erosión costera: estructurales y no estructurales. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático-Subgrupo de Gestión de la Zona Costera (IPCC-CZMS, 1990) sugirió que las tecnologías óptimas en respuesta al aumento del nivel del mar, que posiblemente estarán asociadas a la respuesta frente a la erosión costera, se pueden clasificar en tres enfoques de adaptación: protección, acomodamiento y retiro (planificado) (Figura N° 4 a).

Por otro lado, las medidas no estructurales incluyen educación geográfica y simulacros de emergencia (Figura N° 4 b), además de “controles de uso del suelo, el establecimiento de líneas de advertencia como línea de base costera y líneas de control de construcciones costeras para proteger la costa de edificaciones inapropiadas y prohibición de la extracción de áridos y reclamaciones” (Cai et al., 2009, p. 422).

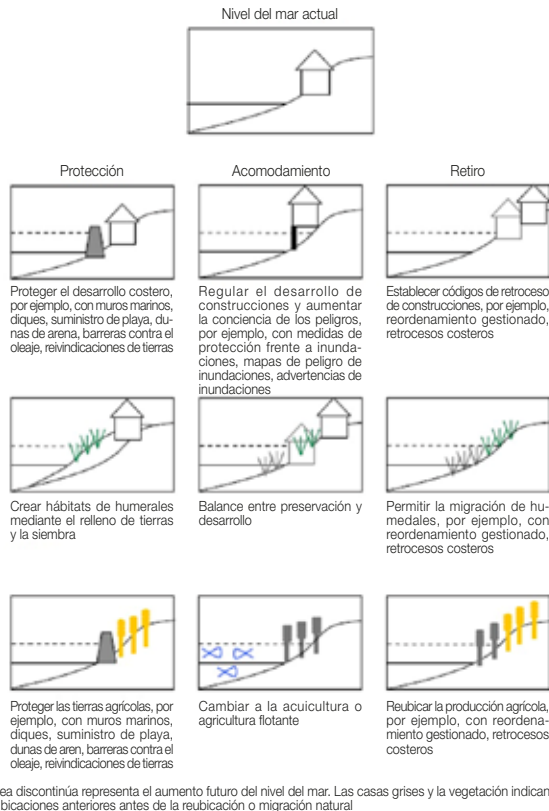




Figura N° 4: a) Enfoques de adaptación al aumento del nivel del mar (Fuente: Modificado de Linham & Nicholls, 2010, p. 13) y (b) Simulacro de tsunami para los establecimientos educacionales costeros de la Región del Biobío. Fuente: BioBio Chile, 2016.

3.1. Procesos de erosión costera y efectos del cambio climático en la costa de la Región del Biobío

La investigación realizada por Araya-Vergara (1982) describió la Región dentro del “sector de erosión con estabilidad promedio”, relacionada con costas de afloramientos sedimentarios terciarios relativamente blandos, destacando la presencia de acantilados que prácticamente ya no retroceden por acción marina, sufriendo variaciones espacio-temporales de poca relevancia en el registro histórico documentado.

Las características tectónicas de la costa regional, ubicadas en el margen de la zona de subducción interplaca, ocasionan cambios morfológicos constantes, los que son prácticamente indetectables. No obstante, los eventos sísmicos y tsunamis repentinos que afectan a la costa han generado un levantamiento y hundimiento del terreno, erosionando significativamente la morfología de la costa. El último evento sísmico del 27 de febrero de 2010 (27/F) generó una gran área de levantamiento cosísmico, que ha tendido a volver a su condición inicial. El alzamiento cosísmico provocó un descenso aparente del nivel del mar y, posteriormente, este ha vuelto a aumentar (Quezada, Jaque, Belmonte, Fernández, Vásquez y Martínez, 2010). Consecuentemente, la gran erosión costera causada por el tsunami es de alto grado y generó pérdida de biomasa en lugares como Llico y Tubul en Arauco y Escuadrón en Coronel (Martínez, C. en Abello, 2013) (Figura N° 5).



Figura N° 5: “Costa de (a) Llico, (b) Tubul y (c) Escuadrón”.

Fuente: archivo del autor, 2014.

Estudios realizados por Quezada *et al.* (2010) muestran que el hundimiento cosísmico provocó cambios en el perfil de *talweg* de los principales ríos de la Región, los que se movieron momentáneamente aguas arriba hacia el este, produciendo un transporte de sedimentos negativo de los sistemas fluviales hacia las costas. Otro impacto del hundimiento cosísmico registrado en la Región se detectó durante la temporada de lluvias, al producir inundaciones fluviales, principalmente en la desembocadura, debido a la altura más baja del terreno.

La influencia tectónica en la Región ha sido significativa en la formación de un sistema costero, denominado por Araya-Vergara (1981) como una “región de costas con grandes bahías de regularización con protección estructural”. El área está influenciada por bloques tectónicos diferenciales asociados a los fenómenos río-mar y ciclos marinos durante el Cuaternario, que, actualmente, generan un nivel ocupado por humedales, paleodunas y paleocostas, ambientes fuertemente intervenidos, principalmente por crecimiento urbano. Bajo estas condiciones, la confrontación de los cambios climáticos y, de forma específica, el aumento en el nivel del mar, es clave para los fenómenos de subsidencia costera asociados con la alta actividad tectónica de la zona. Todos estos factores pueden magnificar el impacto, generando cambios drásticos en la morfología costera y en los asentamientos humanos localizados en la costa.

Chile cumple con los criterios firmados por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (artículo 4, N° 8), de los países considerados particularmente vulnerables (UNFCCC, 1992), identificándolo como un territorio con un extenso litoral de baja altitud, zonas áridas, zonas semiáridas, bosques y áreas propensas a la descomposición del bosque, tendiente a desastres naturales, áreas proclives a la sequía y la desertificación, áreas urbanas con problemas de contaminación del aire y áreas de frágiles ecosistemas montañosos en la Cordillera de la Costa y los Andes.



El Cuarto Informe de Evaluación del IPCC “Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad” (2007), mencionó varios impactos presentes y futuros en la zona costera de Chile asociados con el cambio climático global, entre los que debemos destacar las variaciones en el nivel del mar, el aumento de las tormentas y la disminución de la precipitación, una variable que influye en el suministro de sedimentos a la costa de las cuencas hidrográficas exorreicas.

El primer “Plan Nacional de Acción sobre Cambio Climático 2008-2012” (PANCC) (CONAMA, 2008), indicó que la población asentada en la zona costera del golfo de Arauco y, particularmente, el caso de caleta Las Peñas, la ciudad de Arauco y caleta Tubul presentan una alta vulnerabilidad a un aumento del nivel del mar, el que causaría una amenaza potencial en el suministro de agua y el saneamiento en las ciudades costeras y la contaminación de los acuíferos subterráneos por la intrusión salina en el territorio costero.

Según IPCC (2013) el nivel del mar regional cambiará, debido a modificaciones en la dinámica de la circulación oceánica, cambios en el contenido de calor del océano, redistribución masiva en todo el sistema de la Tierra y cambios en la presión atmosférica. En algunas localidades costeras de la Región del Biobío, los cambios en el ciclo hidrológico, subsidencia del terreno asociada a actividad antropogénica, procesos tectónicos y procesos costeros pueden dominar el cambio relativo del nivel del mar.

Debido a la incertidumbre de los efectos de la erosión costera en la Región, es imperativo implementar medidas de gestión apropiadas para adaptarse a los efectos negativos que puede tener en la zona. “La amenaza del aumento del nivel del mar a escala local requiere de dos acciones complementarias: un mayor entendimiento del problema y la identificación e implementación de apropiadas medidas de adaptación” (Vides, Sierra-Correa & Cortes, 2012, p. 14). Aunque la estimación del aumento del nivel del mar puede considerarse pequeña, “0,19 m en todo el mundo entre 1901 y 2010” (IPCC, 2013). Los mismos impactos son significativos en términos de erosión, esto significa que será necesaria la adaptación del área costera para hacer frente al aumento actual y futuro del nivel del mar (Vides, 2008).

3.2. Gestión de los espacios costeros frente a la erosión y cambio climático en la Región del Biobío

La erosión costera se puede contextualizar dentro de los riesgos que afectan a la zona costera. En Chile, la evaluación de los riesgos naturales que afectan el área costera se incluye en los instrumentos de planificación territorial. Sin embargo, no existe una sistematización de las mejores metodologías de evaluación y la zonificación del riesgo.



Las unidades territoriales referidas en la planificación territorial, generalmente, consideran unidades administrativas que no son representativas del impacto de los fenómenos costeros que interactúan en una zona, sin considerar las características locales que influyen en los diferentes comportamientos de los procesos y las posibles estrategias de adaptación que pueden llevarse a cabo.

En la Región del Biobío se han tomado algunas medidas de mitigación y adaptación para evitar que la erosión afecte la morfología costera y, por lo tanto, no afecte la infraestructura. Cabe destacar que estas intervenciones aumentaron después del terremoto y tsunami del 27/F.

La protección de la infraestructura es la más extendida en la Región, con terraplenes a lo largo de la costa, que detienen las olas que golpean en tiempos de tormenta o mitigan la fuerza del agua en eventos tsunamigénicos. En las ciudades de Talcahuano, Dichato, Lebu y caleta Coliumo, por ejemplo, también desempeñan el papel de costanera, mejorando el atractivo turístico de la zona. Sin embargo, al considerar la fuerza de los procesos costeros, la construcción de esta infraestructura cumple parcialmente la función para la cual fue construida e, incluso, puede generar un efecto adverso en la costa.

En las últimas décadas, el asentamiento de viviendas cercanas a la costa se ha popularizado en algunos sectores de la Región. En el sector occidental de Isla Mocha, algunas casas aprovecharon el extenso sistema dunario para su localización. En la localidad de Punta Lavapié, hay algunas casas cerca de la costa, construcciones elevadas improvisadas, que han logrado evitar las mareas altas y el aumento del nivel del mar durante los períodos de tormenta. Luego del terremoto y tsunami del 27/F, esta opción tipo palafito se extendió a varias localidades afectadas. Algunas viviendas de las localidades de Dichato y caleta Tumbes fueron las primeras en implementar medidas de acomodación de viviendas, inicialmente diseñadas para enfrentar un tsunami, representando un buen precedente para este tipo de acciones, debido a la buena acogida de la población local y su efectividad para enfrentar los procesos costeros en tiempos de tormenta. Sin embargo, su efectividad contra un tsunami aún no se ha probado en toda su magnitud.

El retiro planificado de la infraestructura localizada más próxima a la costa hacia terrenos más seguros no ha sido parte de la política aplicada a las áreas costeras bajo amenaza. Si bien esta opción ha sido propuesta en algunas caletas, principalmente después del terremoto y el tsunami del 27/F, la idea no ha resultado fructífera, debido al rechazo de la población local.

Finalmente, la implementación de medidas no estructurales se ha llevado a cabo principalmente en el entorno cotidiano, dando cuenta de la realidad de vivir en un área



antrópica compleja e integradora, con procesos físicos y bióticos. Sin embargo, las medidas que apuntan a mostrar la implicancia de los procesos costeros en el día a día han aumentado paulatinamente durante los últimos años. La Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI) ha proveído a la población local de educación geográfica y cívica en contexto de desastres. Adicionalmente, se ha producido un aumento cuantitativo y cualitativo de los estudios de riesgos costeros en los instrumentos de planificación territorial.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el informe “Estado del Medio Ambiente en Chile 2012”, publicado por el Instituto de Asuntos Públicos (IAP, 2012) de la Universidad de Chile, se sugiere que en Chile haya más preocupación sobre las políticas de adaptación, cuyos efectos serán a largo plazo. No obstante, esto también se puede lograr considerando políticas de corto y mediano plazo. Se hace necesario la realización de estudios específicos para hacer que las unidades de análisis y la aplicación de políticas sean mucho más precisas y detalladas que en la actualidad. En este contexto, “aunque los proyectos de ingeniería están orientados a solucionar los problemas de erosión, se ha demostrado que estos proyectos también pueden crear problemas en otros lugares cercanos” (Van Rijn, 2011, p. 867).

Pastene (2014) plantea la importancia de la actividad tectónica que afecta las costas de la Región del Biobío al momento de enfrentar estrategias frente a la erosión costera, procesos que se manifiestan mediante terremotos y sus consecuentes tsunamis, generando cambios constantes y, a veces, bruscos en la morfología y la infraestructura costera, por lo que un estudio exhaustivo de ellos es clave para incorporar su dinámica en las herramientas de planificación, lo que permitirá y apoyará la toma de decisiones.

Apoyando la caracterización a través de los accidentes geográficos costeros expuestos en este artículo, Andrade, Arenas y Lagos (2010) sugieren que entre las muchas variables del entorno natural que deberían incluirse en las actividades relacionadas con los instrumentos de planificación territorial y que pueden aplicarse a las estrategias de adaptación está la geomorfología, suponiendo que el estado de morfoconservación de los accidentes geográficos no solo refleja la evolución del medio, sino que también es una expresión de cómo ha sido la decisión sobre las modalidades de la ocupación espacial.

Actualmente es un hecho que el empeoramiento de la erosión costera ha sido causado por el aumento del nivel del mar y la frecuencia e imprevisibilidad de las tormentas asociadas con el cambio climático (European Commission, 2005). “La tendencia del calentamiento global es difícil de revertir y parece que el cambio climático global no estará bajo control en un futuro cercano” (Cai et al., 2009, p. 416). Por lo tanto, el gobierno y



las instituciones de investigación deberían centrarse en los procesos que interactúan en la dinámica costera y en el desarrollo de estrategias de adaptación óptimas para cada unidad de análisis. En situaciones extremas como esta, la costa puede desaparecer por completo, razón por la cual se debe reconsiderar su mantenimiento artificial.

El cambio climático global es una amenaza que “presenta múltiples dimensiones y tiene un nivel de complejidad bastante alto. La incertidumbre, multifactorialidad, dinámica y estrecho vínculo con los caminos de desarrollo desafían nuestra habilidad de resolverlo” (Cifuentes & Meza, 2008, p. 10).

La geografía de nuestro país comprende una serie de condiciones para la ocupación del territorio que, combinado con la vulnerabilidad de gran parte de la población que vive en zonas de riesgo costero, aumenta los niveles de vulnerabilidad de la infraestructura, actividades económicas y, en general, la vida de las personas.

En la zona costera de la Región del Biobío, se debe enfrentar el fenómeno de la erosión costera a través de estrategias de adaptación estructurales (proteger, acomodar y retirar) y no estructurales. La consideración de los escenarios expuestos anteriormente, junto con las características de la costa regional, debería reflejarse en los instrumentos de planificación territorial, asumiendo estrategias preventivas para adaptarse a la erosión costera, considerando la dinámica de los procesos que la generan, en contraste con una visión reactiva que ha prevalecido hasta hoy. Las estrategias para abordar la erosión costera actual y futura deberían conducir a largo plazo al desarrollo sostenible de la zona costera en el contexto de su gestión integrada.

Dada la naturaleza transversal de las estrategias de adaptación a la erosión costera y el cambio climático y su relación con las políticas públicas es necesario, para su ejecución y funcionamiento, la participación de todos los diferentes actores de la sociedad. El Estado debe ser el responsable de generar escenarios para la construcción e implementación de políticas públicas para la adaptación a la erosión costera y el cambio climático con la generación de beneficios compartidos para las partes interesadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abello, C. (2013). Estudio afirma la existencia de errores en construcción tras el 27/F. *Diario Concepción*, 8-9.
- Andrade, B., Arenas, F. y Lagos, M. (2010). Incorporación de criterios de fragilidad ambiental y riesgo en la planificación territorial de la costa de Chile central. *Revista de Geografía Norte Grande*, 45, 5-20. DOI: 10.4067/S0718-34022010000100001



- Araya-Vergara, J. (1981). El concepto de delta en ría y su significado en la evolución litoral (ejemplo de Chile Central). *Revista Informaciones Geográficas de Chile*, 28, 19-42.
- Araya-Vergara, J. (1982). Análisis de la localización de los procesos y formas predominantes de la línea litoral de Chile: observación preliminar. *Revista Informaciones Geográficas de Chile*, 29, 35-55. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117968/Analisis-de-la-localizacion-de-los-procesos-y-formas-predominantes.pdf?sequence=1>
- BioBío Chile (2016). *Convocan a simulacro de tsunami para establecimientos educacionales costeros del Bío Bío*. Santiago, Chile: Biobío Chile. Recuperado de: <https://www.biobiochile.cl/noticias/2016/04/20/convocan-a-simulacro-de-tsunami-para-establecimientos-educacionales-costeros-del-bio-bio.shtml>
- Cai, F.; Su, X.; Liu, J.; Li, B. y Lei, G. (2009). Coastal erosion in China under the condition of global climate change and measures for its prevention. *Progress in Natural Science*, 19(4), 415-426. DOI: 10.1016/j.pnsc.2008.05.034
- Cifuentes, L. y Meza, F. (2008). Cambio climático: consecuencias y desafíos para Chile. *Temas de la Agenda Pública*, 19, 1-19. Recuperado de https://cambioglobal.uc.cl/images/publicacionesextension/1_2008_Cambio_Climatico_Consecuencias_Desafios.pdf
- CONA (2010). *Geología Marina de Chile*. Recuperado de: http://www.cona.cl/publicaciones/geologia_marina/revista.html
- CONAMA (2008). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012*. Recuperado de: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/11/Plan-Accion-Nacional-CC-2008-2012-PANCC.pdf>
- D'amico, G. (2009). Fragilidad de los espacios litorales: lineamientos para comprender la erosión costera inducida en el litoral marítimo bonaerense. El caso de la localidad de Mar del Tuyú. *Revista Geograficando*, 5(5), 169-186. Recuperado de: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4448/pr.4448.pdf
- European Commission (2005). *Living with Coastal Erosion in Europe. Sediment and Space for Sustainability. Results from the EUROSION Study*. Recuperado de: http://www.euroasion.org/project/euroasion_en.pdf
- IAP (2012). *Informe País Estado del Medio Ambiente en Chile 2012*. Recuperado de: <http://www.inap.uchile.cl/publicaciones/106526/estado-de-medio-ambiente-en-chile-2012>.



IPCC (2001). *Summary for Policymakers: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/wg2TARsummaries.pdf>.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

IPCC-CZMS (1990). *Strategies for Adaptation to Sea Level Rise*. Recuperado de: http://papers.risingsea.net/federal_reports/IPCC-1990-adaption-to-sea-level-rise.pdf

Linham, M. y Nicholls, R. (2010). *Technologies for Climate Change Adaptation-Coastal Erosion and Flooding*-. Recuperado de: <http://www.tech-action.org/>

Luther, M. (2013). *Coastal Erosion in Daniel's Harbour*. Trabajo presentado en PT-13: Coastal and Ocean Engineering ENGI.8751 Undergraduate Student Forum, Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University, St.John's, NL, Canada. Recuperado de: <http://journals.library.mun.ca/ojs/index.php/prototype/article/download/490/545>

Mardones, M., Hernández, H., Cristo, O., Sánchez, A., Carrasco, P., Millán, J. y Peña, L. (2001). *Geografía de la VIII Región del Biobío. Colección Geografía de Chile*. Santiago, Chile: Instituto Geográfico Militar (IGM).

O'connor, M., Lymbery, G., Cooper, J., Gault, J. y Mckenna, J. (2009). Practice versus policy-led coastal defence management. *Marine Policy*, 33(6), 923-929. DOI: 10.1016/j.marpol.2009.03.007

O'neill Jr., C. (1985). *A Guide to Coastal Erosion Processes*. Recuperado de: <https://seagrant.sunysb.edu/glcoastal/pdfs/guidetoerosionprocesses.pdf>

Pastene, J.C. (2014). *Coastal Erosion in the Biobío Region, Chile-Adaptation Strategies and Future Scenarios of Climate Change*. (Master Thesis for the Degree Master of Science Governance of Risks and Resources). Heidelberg University, Heidelberg, Alemania.

Quezada, J., Jaque, E., Belmonte, A., Fernández, A., Vásquez, D. y Martínez, C. (2010). Movimientos cosísmicos verticales y cambios geomorfológicos generados durante



el terremoto Mw=8,8 del 27 de Febrero de 2010 en el centro-sur de Chile. *Revista Geográfica del Sur*, 2, 11-44. Recuperado de: http://www.revgeosur.udec.cl/wp-content/uploads/2016/08/revgeosur_N2_quezada.pdf

Strahler, A. N. y Strahler, A. H. (1994). *Geografía Física*. Barcelona, España: Editorial Omega.

UNFCCC (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Van Rijn, L. (2011). Coastal erosion and control. *Journal Ocean & Coastal Management*, 54(12), 867-887. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2011.05.004

Vides, M. (2008). *Adaptación costera al ascenso del nivel del mar*. Recuperado de: <https://docplayer.es/219830-Adaptacion-costera-al-ascenso-del-nivel-del-mar-insumos-al-documento-segunda-comunicacion-nacional-de-colombia.html>

Vides, M., Sierra-Correa, P. y Cortes, L. (2012). *Gestión costera como respuesta al ascenso del nivel del mar. Guía para administradores de la zona costera del Caribe*. Recuperado de: [https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfitedu/coast-climate-adaptation-library/latin-america-and-caribbean/venezuela-amp-colombia/Vides-et-al.-2012.--Coastal-Management-in-Response-to-Sea-Level-Rise.--\[ESP\].pdf](https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfitedu/coast-climate-adaptation-library/latin-america-and-caribbean/venezuela-amp-colombia/Vides-et-al.-2012.--Coastal-Management-in-Response-to-Sea-Level-Rise.--[ESP].pdf)

Zhang, K., Douglas, B. y Leatherman, S. (2004). Global Warming and Coastal Erosion. *Climatic Change Journal*, 64(1), 41-58. DOI: 10.1023/B:CLIM.0000024690.32682.48