SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XXV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

CAMBIOS HISTÓRICOS Y PROYECCIONES DE EROSIÓN EN PLAYAS DE LA COSTA DE CHILE

PATRICIO WINCKLER G.[1,2,3]
CAROLINA MARTÍNEZ R.[4]
CÉSAR ESPARZA A.[5]
ROBERTO AGREDANO M.[6]
MANUEL CONTRERAS-LÓPEZ[1]

RESUMEN

Se exploran los cambios históricos y proyecciones futuras de la erosión de 45 playas a lo largo de la costa chilena, con base en el marco conceptual del IPCC. El análisis histórico en 45 playas ubicadas en costas expuestas ubicadas a lo largo de 2000 kilómetros muestra que el 80% de ellas presentaron erosión. Para establecer si esta tendencia continuará a medida que avance el siglo, se efectúan proyecciones del clima de oleaje, el nivel del mar y la erosión mediados (2026-2045) y fines de siglo (2081-2100) para el escenario RCP 8.5, las que se comparan con un período histórico (1985-2004). Mientras que la erosión media proyectada a mediados de siglo es moderada (>13 m), esta será drástica a fines de siglo (>53 m) e impulsada principalmente por el aumento del nivel del mar (0,58 ± 0,25 m). Se espera que un porcentaje menor de aquellas playas desaparezcan, principalmente debido al aumento del nivel del mar. Estas proyecciones, basadas en cambios en variables oceánicas, no contemplan factores de origen geodinámicos, hidrológicos o antrópicos que pudieren ser comparables en magnitud.

[1] Escuela de Ingeniería Civil Oceánica, Universidad de Valparaíso - email: patricio.winckler@uv.cl
[2] Centro de Observación Marino para Estudios de Riesgos del Ambiente Costero (COSTAR)
[3] Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN)
[4] Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile
[5] Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile
[6] Departamento de Obras Civiles, Universidad Católica del Maule

1 INTRODUCCIÓN

La costa chilena es muy variada y se compone de humedales, estuarios, dunas, plataformas de abrasión, playas, acantilados, fiordos y canales que responden de forma dispar al cambio climático (Morales et al., 2020). Los impactos sobre los sistemas humanos abarcan la inundación de asentamientos costeros, efectos sobre la operación de puertos y caletas pesqueras, efectos sobre la actividad turística por pérdida de playas, daños sobre obras portuarias, costeras e industriales, intrusión salina en acuíferos y afectaciones de zonas con patrimonio cultural y natural. En particular, los efectos del cambio climático en la erosión de 35 playas, de un total de 1.172 playas en Chile, fueron estudiados en el estudio CCCostas (MMA, 2019, Vol.2) para una ventana histórica (1985-2004) y una proyección a medio siglo (2026-2045) para el escenario RCP 8.5. Este estudio fue extendido en el Atlas de Riesgos Climáticos (MMA, 2020; Winckler et al., 2020a) a 45 playas. En este trabajo se extienden los estudios precedentes a fines de siglo (2081-2100) para el escenario RCP8.5. Las lecciones recogidas de estos tres estudios se sintetizan en este capítulo.

El cambio climático puede suponer un retroceso o avance de la línea de costa, que se suma a otras posibles causas que explican la erosión (Tabla 1). La pérdida de playas tiene efectos adversos en el turismo, en la pérdida de ecosistemas y en un aumento del daño de las obras costeras que las delimitan. A nivel mundial, Bird (2011) reportó que cerca del 70% de las playas retrocedieron por efecto de la erosión entre 1976 y 1984. Vousdoukas et al. (2020), por su parte, proyectan que al menos la mitad de las playas arenosas del mundo desaparecerían a finales de siglo como efecto del cambio climático, cifra cuestionada por Cooper et al. (2020), quienes argumentan que las playas con poca intervención tienen una buena capacidad de adaptación y no necesariamente desaparecerán.

Tabla 1: Factores que explican la erosión en playas.

Factores	Proceso
Oceanográficos	incremento en las marejadas, meteotsunamis y mareas meteorológicas
	cambios en la dirección del flujo medio de energía del oleaje
	aumento del nivel medio del mar absoluto
Geodinámicos	subsidencia o el levantamiento cosísmica durante eventos recientes
	deformación costera debida al ciclo sísmico en distintas escalas
Hidrológicos	aumentos temporales del nivel del mar en desembocaduras
	variabilidad climática (e.g. megasequía de la zona central)
	procesos a mayor escalas espacio-temporales asociados al cambio climático
Antrópicos	cambios en el aporte sedimentario de los ríos debidos a la expansión urbana
	extracción de arenas para construcción
	construcción de presas y embalses sin sistemas de gestión de sedimentos
	efectos locales debido a la construcción de obras costera
	extracción de algas en zonas expuestas al oleaje

2 ANÁLISIS HISTÓRICO DE EROSIÓN DE PLAYAS

Los estudios sobre la erosión histórica en Chile son escasos y puntuales (Agredano et al., 2017; Ibaceta et al., 2017; Molteni et al., 2017; Martínez et al., 2018; MMA, 2019, Vol.4). En este estudio se utilizó el software DSAS (Thieler et al., 2009), fotografías aéreas, fotografías satelitales y levantamientos topográficos de líneas litorales a partir de los cuales se calcularon las tasas de erosión en 45 playas, de acuerdo a las categorías de Rangel et al. (2015). Cabe notar que el procedimiento no permite establecer las causas de la erosión, sino sólo evaluar los cambios que la línea de costa experimenta. La Figura 1 muestra un ejemplo de aplicación del procedimiento en Pichilemu y la Figura 2 se muestra el resultado para las playas ubicadas en 4 regiones. La distribución espacial de la erosión presentada en la Figura 2 muestra que la Región de Valparaíso presenta un proceso erosivo generalizado, que es muy marcado en El Yali (Santo Domingo), Algarrobo y Concón. Esta región se caracteriza por tener afluencia de turistas de la zona central de Chile y Argentina, por lo que esta evidencia constituye un incentivo para adoptar medidas de adaptación de cara a mantener el turismo de playas en los años venideros. En la figura se observa también la erosión alta experimentada por las playas de Hornitos, al norte de Mejillones, y Pichilemu, en la región de O'Higgins.

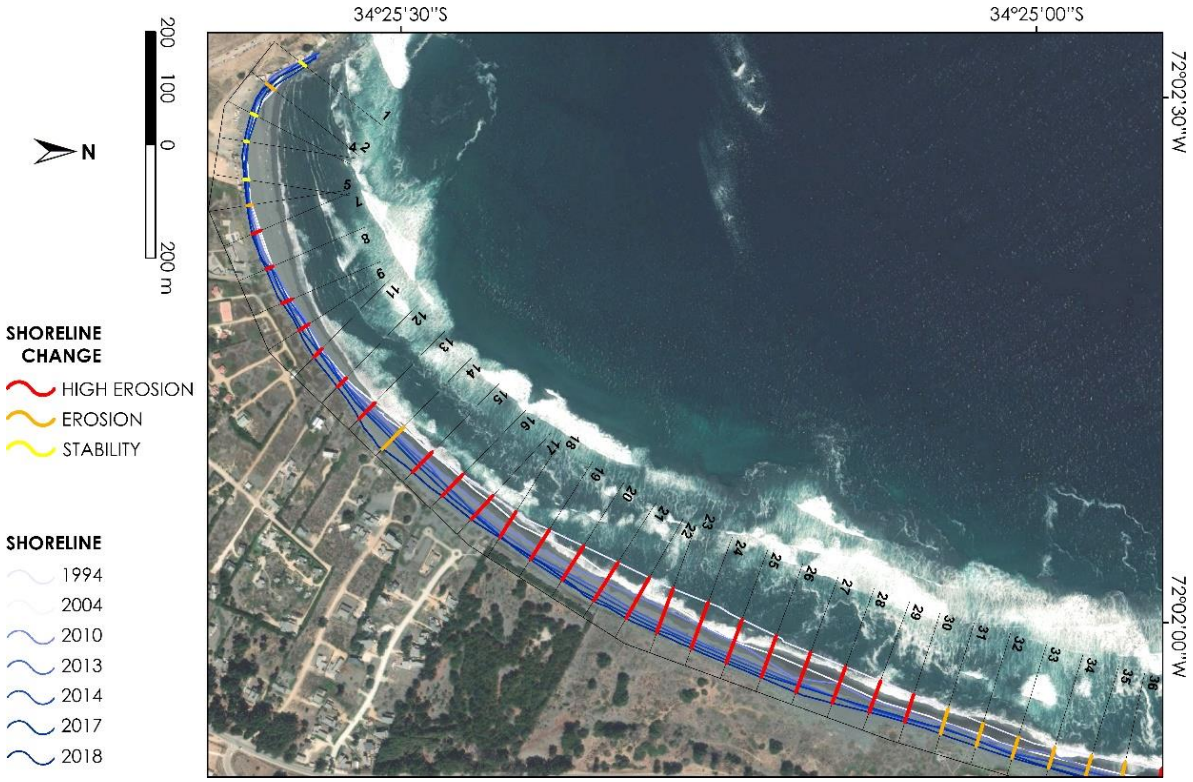

Figura 1: Evolución de la línea de costa en Pichilemu entre 1994 y 2018. Se presentan las tasas de erosión (Rangel et al., 2015): Erosión alta (>-1,5 m/año), erosión (-1,5 a -0,2 m/año), estable (-0,2 a 0,2 m/año) y acreción (>0.2 m/año).

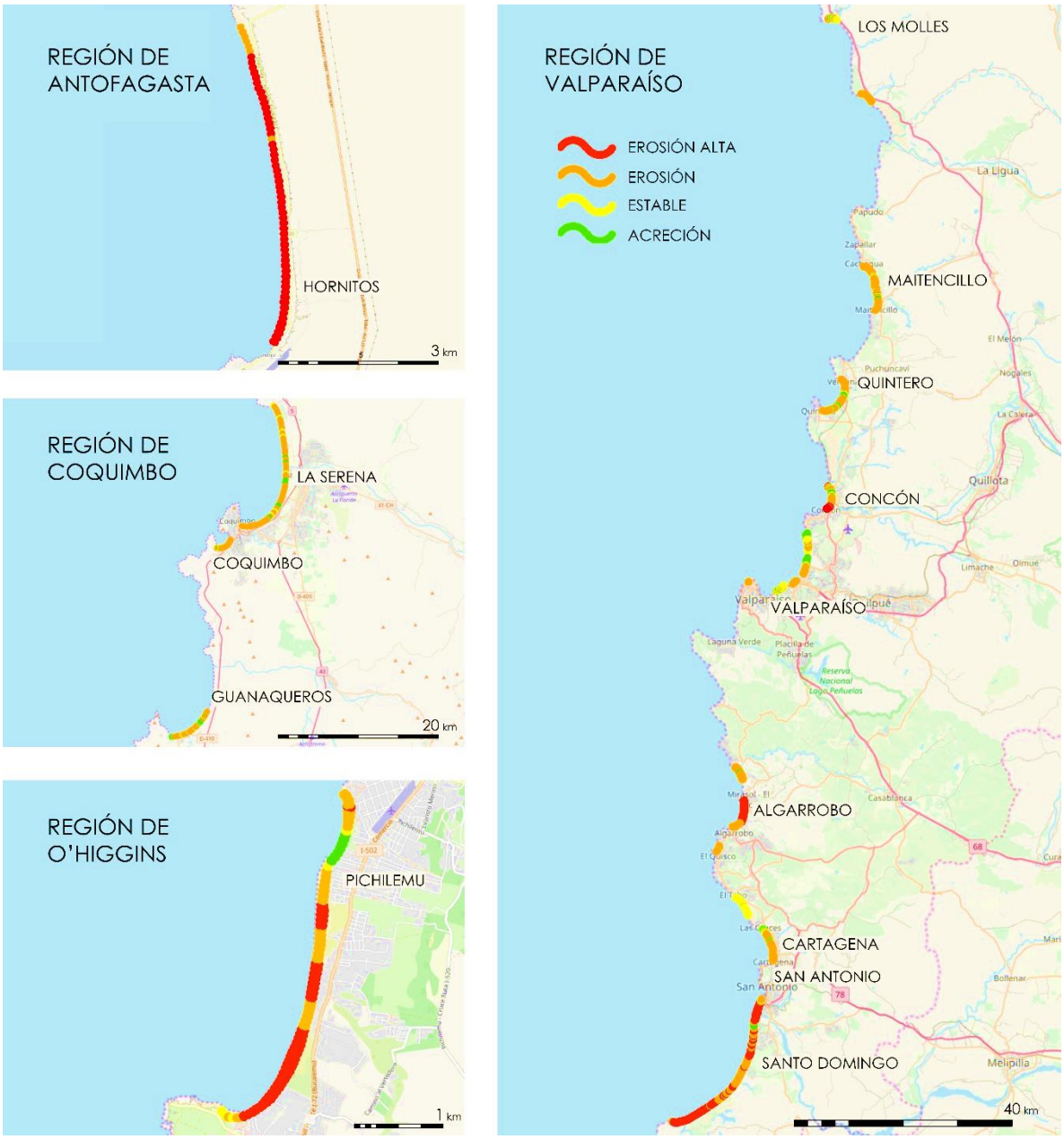

Figura 2: Tasas de erosión para algunas playas ubicadas en cuatro regiones del país. según La clasificación de Rangel et al. (2015) es: Erosión alta (>-1,5 m/año), erosión (-1,5 a -0,2 m/año), estable (-0,2 a 0,2 m/año) y acreción (>0.2 m/año).

La Figura 3 muestra que el 80% de las playas presentaron erosión en el período histórico. Las playas con erosión alta son Hornitos, Chañaral, Playa Grande de Tongoy, Bahía La Ligua, Algarrobo, Santo Domingo, Pichilemu y Lebu. Todas ellas corresponden a playas de ensenada donde se desarrollan extensos litorales arenosos, asociados a antiguos campos dunares y humedales costeros. Las playas de bolsillo o encajadas entre penínsulas son en general más estables. Pichilemu experimentó una marcada erosión producto de una subsidencia repentina de 40 cm luego de los eventos del 27 de febrero y 11 de marzo de 2010,

fenómeno que también se ha descrito en la bahía de Santo Domingo, donde los efectos en la morfodinámica fueron significativos luego del terremoto. Las playas en estado de acreción son Caldera y El Encanto en Viña del Mar, además de Tubul y Llico, ubicadas en la Región del Biobío. Estas dos últimas experimentaron alzamientos costeros de gran magnitud durante el terremoto del 27 de febrero de 2010, lo cual se reflejó en un aumento del ancho de la playa que puede explicar la acreción como fenómeno local.

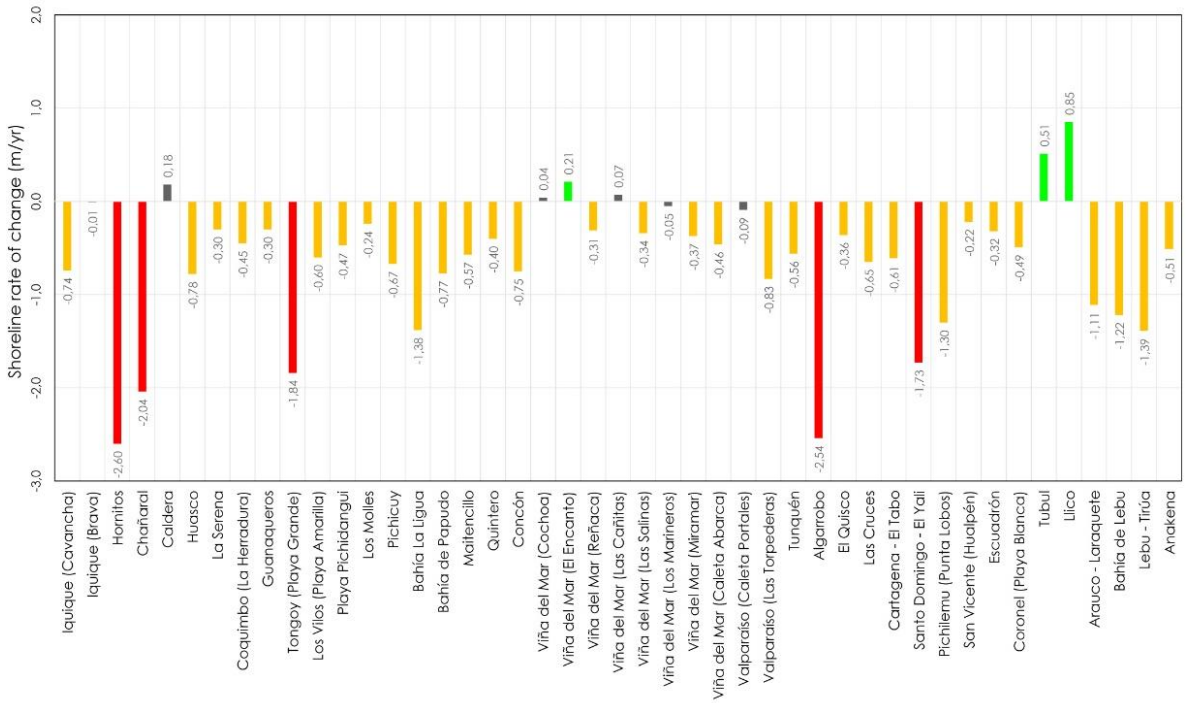

Figura 3: Tasas de erosión, estabilidad o acreción para las 45 playas analizadas.

La evolución de casi 20 años de la línea de costa de Pichilemu, que se muestra a modo de ejemplo en la Figura 4, proporciona una secuencia de la erosión provocada por el terremoto del Maule de 2010. En 2003, la playa tenía abundante arena y dunas (a, b), estas últimas que se mejoraron con la plantación de *Ammophila arenaria* y vallas de control de acceso (c). El tsunami del 27 de febrero inundó la duna, pero no provocó cambios significativos en la morfología de la playa. Debido a la subsidencia cosísmica, los meses siguientes las dunas comenzaron a erosionarse (e) hasta que una casa (f, g) fue arrasada. Para 2012, la línea costera había retrocedido ~50 m desde su posición anterior al terremoto y permaneció relativamente estable, con cambios naturales asociados a eventos ENOS, hasta 2018 (h). En los últimos meses, la playa ha avanzado (i) y se ha generado proyectos de restauración de dunas a pequeña escala. Un contraejemplo de playas en crecimiento después de terremotos es Tubul, donde el ancho de la playa se incrementó en ~100 m producto del solevantamiento costero como consecuencia del terremoto de 2010.

Figura 4: Evolución de la línea de costa en Pichilemu para el período 2003-2021.

3 PROYECCIÓN DE EROSIÓN DE PLAYAS DURANTE EL SIGLO XXI

La evaluación del riesgo asociado al cambio climático se basa en la propuesta por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2014), que se basa en la evaluación del peligro, la exposición y la vulnerabilidad. En lo relativo a la erosión de playas, el peligro se atribuye en este estudio al aumento del nivel del mar y a las marejadas. El análisis se centra en la modelación del nivel del mar medio mensual y el oleaje cada 3 horas para el período histórico (1985-2004) y proyecciones a medio (2026-2045) y fin de siglo (2081-2100) a partir de Modelos de Circulación General (GCM), disponibles en el *Coupled Modeling InterComparison Project 5* CMIP5 (Taylor et al., 2012). Este proyecto permite que diversos

centros efectúen simulaciones considerando la estandarización de metadatos, condiciones iniciales, parametrizaciones físicas y trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero (*Representative Concentration Pathways*, RCP). Se utiliza el escenario RCP8.5, correspondiente a una condición *business as usual*, en ausencia de mitigación climática. Las proyecciones se definen a partir del ensamblaje de varios GCMs, que responden a diferentes condiciones iniciales y parametrizaciones de ciertos fenómenos físicos (MMA, 2019, Vol.1).

3.1 Oleaje

Las proyecciones del clima de oleaje climático se efectúan en este capítulo a partir de los campos de viento superficiales globales y concentraciones de hielo marino disponibles en seis GCM correspondientes al escenario RCP 8.5. Estas variables se usan para forzar el modelo espectral WWIII (Tolman et al., 2019) que se basa en un balance entre la evolución de la energía y términos asociados al crecimiento y disipación del oleaje (Ardhuin et al., 2010) en todo el Océano Pacífico. El forzamiento se efectúa en forma independiente para cada GCM y luego requiere de una corrección por sesgo (Lemos et al., 2020), de modo de que, para el período histórico exista coincidencia entre todos los GCM con un modelo validado. La Figura 5 presenta los cambios en el percentil 99 de *Hs* asociados a las proyecciones de medio y fin de siglo en el Océano Pacífico. Para medio siglo, en las costas de Chile, *Hs* presentará un incremento en las latitudes por sobre los 50°S, una leve reducción en latitudes medias (35°S a 45°S) y un leve aumento en el norte. Estos cambios se deben fundamentalmente a que el cinturón de vientos del oeste del Pacífico, principal fuente de generación de oleaje en las costas de Chile, se trasladará gradualmente a latitudes más altas (Rykaczewski et al., 2015). Para fin de siglo, *Hs* presentará un patrón de cambios similar pero más pronunciado al proyectado para medio siglo.

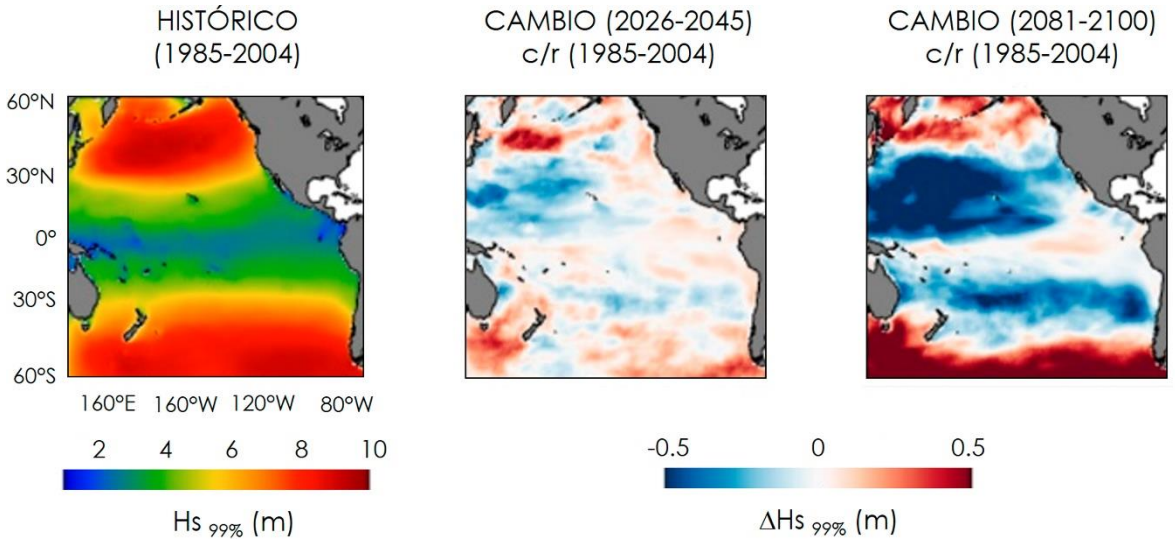

Figura 5: Campos de altura significativa de oleaje (99%) para el período histórico (1985-2004) y cambios para la proyección a medio siglo (2026-2045) y fin de siglo (2081-2100), ambos relativos al período histórico.

La migración hacia el polo del Anticiclón del Pacífico Sur se traducirá en un aumento muy leve del período del oleaje, debido a que la zona de generación será más remota y por ende el oleaje arribará a las costas de Chile en forma más desarrollada. Adicionalmente, la traslación hacia el Sur de estos vientos inducirá un giro al sur del oleaje, con magnitudes de ~3° y ~7° para medio y fin de siglo. Esto podría inducir cambios morfológicos en las playas, afectar a las obras marítimas y a la operatividad de los puertos expuestos al Océano Pacífico.

3.2 Nivel medio del mar

El nivel medio del mar corresponde al promedio de la superficie del agua en un tiempo relativamente prolongado. Su expresión sería la del plano que adoptarían las aguas en reposo, depurada la acción de oscilaciones de período inferior al mes (marea astronómica, oleaje, marea meteorológica, meteosunamis y ondas infra gravitatorias), que han sido poco estudiadas en Chile (Carvajal et al., 2017, 2021; Winckler et al., 2017). Existen fenómenos como el cambio climático, la variabilidad climática[7] y la estacionalidad que también modifican el nivel del mar a diferentes escalas de tiempo. Esta variable se cuantifica mediante el nivel medio del mar relativo (NMMR) y el nivel medio del mar absoluto (NMMA). El NMMR se obtiene mediante registros de mareógrafos e incluye tanto las variaciones del nivel del mar como del fondo marino causadas por la actividad tectónica. El NMMA, medido desde satélites o calculado mediante modelos, sólo contempla las variaciones del nivel del mar respecto del centro de la tierra. En este estudio se calcula el NMMA a partir de 20 GCMs disponibles en el Océano Pacífico (Figura 6). Estos GCM son parte del proyecto de CMIP5 (Taylor et al., 2012), cuya base de datos de la altura de la superficie del mar (SSH) es accesible en CMIP5 (2020).

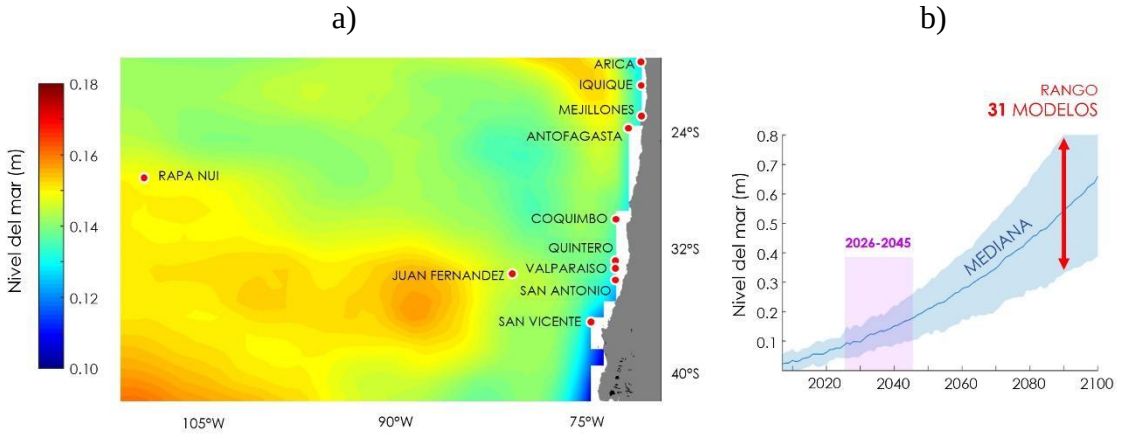

Figura 6: a) Incremento del NMMA de la mediana de la proyección de medio siglo (2026-2045) respecto de la mediana del período histórico (1986-2005) a partir de 20 modelos del CMIP5 para el escenario RCP 8.5. Los puntos rojos corresponden a los nodos más cercanos a los puertos. b) Proyecciones durante el siglo 20 en Valparaíso. (MMA, 2019; Vol.1).

[7] La variabilidad climática se manifiesta mediante procesos cíclicos irregulares como ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), SAM (*Southern Annular Mode*), y PDO (*Pacific Decadal Oscillation*)

El estudio concluye que, a mediados de siglo (2026-2045), en Chile continental, Rapa Nui y Juan Fernández, se espera un ascenso del nivel del mar de 0.15 a 0.18 m, con un rango de incertidumbre de ± 0.1 m para la proyección a medio siglo. Las proyecciones a fin de siglo, no obstante, reflejan aumentos del orden de 0.6 ± 0.3 m sin reflejar una variación latitudinal notoria. Estos resultados son coherentes con los escasos estudios disponibles (Albrecht & Shaffer, 2016), aun cuando no sean metodológicamente equivalentes.

Estas proyecciones de nivel del mar no consideran la subsidencia o solevantamiento costero, que son comparables e incluso superiores a los cambios asociados al cambio climático. De hecho, las tasas futuras de cambio del NMMR debieran incluir deformaciones corticales del terreno producto del ciclo sísmico (Winckler et al., 2020b).

3.3 Erosión de playas

Una de las dudas abiertas es si el proceso de erosión observado a la fecha continuará a medida que avance el siglo. Para ello, se calcula la erosión costera a mediados (2026-2045) y fines de siglo (2081-2100) bajo el escenario RCP 8.5 mediante la fórmula de Bruun (1962). Ésta considera los cambios en la altura significativa excedida doce horas al año, el período peak asociado a dicha altura y las proyecciones de ascenso del NMMA. A falta de información específica de cada playa, se presentan resultados para un diámetro de sedimento de 0,3 mm y 4 alturas de la berma (B) a modo de cubrir el amplio espectro de posibilidades. Los resultados indican que las playas ubicadas entre Arica y el Canal Chacao experimentarán retrocesos medios anuales de hasta 13 m a mediados de siglo (Figura 7a) y ninguna playa experimentará una desaparición total (Figura 7c). Las playas con menor altura de berma serán más erosionadas que aquellas con mayor altura puesto que tienen mayor volumen de arenas para adaptarse a las nuevas condiciones. Por otra parte, aquellas playas con sedimentos finos experimentarán mayor retroceso que playas de arena gruesa puesto que los finos son menos estables (MMA, 2019, Vol.4). Para fin de siglo se esperan retrocesos de hasta 50 m producto principalmente del aumento del NMMA (Figura 7b), que se traducen en una erosión total de un número significativo de playas (Figura 7d).

Este último resultado -la desaparición de playas hacia fines de siglo- no considera que estas tienen la capacidad de acomodar sus mantos arenosos a medida que aumente el nivel del mar. Si bien muchas playas formadas no desaparecieron durante el aumento del NMMA desde la última glaciación, sino que migraron hacia tierra (Cooper et al., 2020), en la actualidad la mayoría de las zonas costeras con playas arenosas están habitadas o son urbanas. En estas circunstancias, la capacidad de migración hacia tierra se ve limitada o impedida por la barrera física de las infraestructuras costeras, además de por la poca disponibilidad de sedimento en sitios específicos.

4 CONCLUSIONES

El cambio climático provocará impactos relevantes en las playas costas de Chile a medida que avance el siglo. Mediante la evidencia mostrada hemos mostrado metodologías y resultados que servirán de base para el diseño de medidas de adaptación de cara al futuro, entre las que podrían considerarse la alimentación artificial de playas con arenas disponibles

en embalses, presas o depósitos sedimentarios marinos, la conservación y restauración de campos dunares y humedales, el uso de defensa costera convencionales y aquellas basadas en infraestructura verde o la reforestación con campos de algas, entre otros.

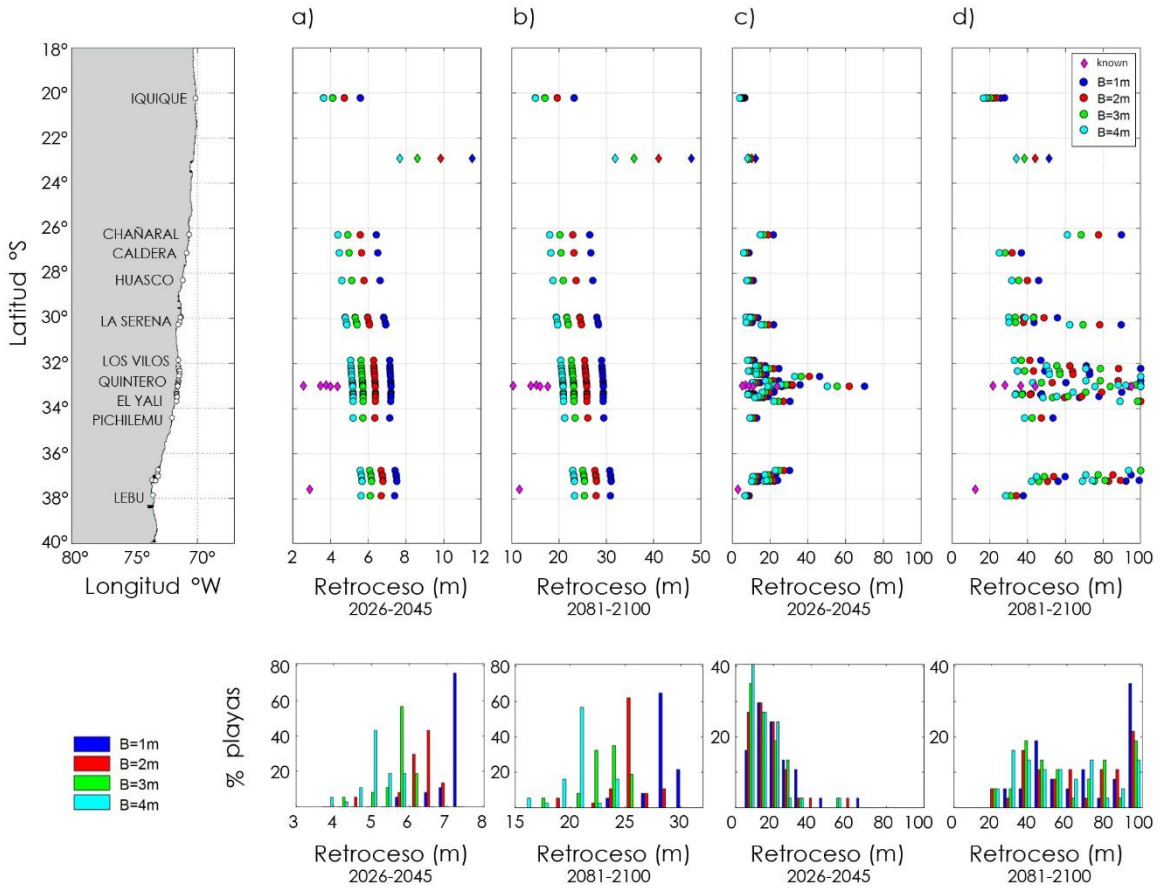

Figura 7: Retroceso de la línea de costa debido al efecto conjunto de aumento del nivel medio del mar y cambios en el oleaje para a) mediados (2026-2045) y b) fines de siglo (2081-2100). c) y d) representan la pérdida porcentual de ancho de playa para ambos horizontes, respectivamente. Se analiza un tamaño de sedimento de d_{50} = 0,3 mm y para 4 alturas de la berma de playa (B = 1, 2, 3 y 4 m). (Martínez et al, en elaboración).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido realizada con apoyo de los proyectos “Determinación del riesgo de los impactos del cambio climático en las costas de Chile” (MMA, 2019), “Atlas de riesgos climáticos” (MMA, 2020; Winckler et al., 2020a) y “Costos de la inacción frente al cambio climático en Chile” (CEPAL, EUROCLIMA y el MMA, 2021).

REFERENCIAS

Agredano, R., Cienfuegos, R., Catalán, P., Mignot, E., Bonneton, P., Bonneton, N., & Martínez, C. (2019). Morphological changes in a cuspate sandy beach under persistent high-energy swells: Reñaca Beach (Chile). Marine Geology, 417, 105988.

Albrecht, F., & Shaffer, G. (2016). Regional Sea-Level Change along the Chilean Coast in the 21st Century. Journal of Coastal Research, 32(6), 1322–1332.

Ardhuin, F., Rogers, E., Babanin, A. et al. (2010). Semiempirical dissipation source functions for ocean wave Part I: definition, calibration and validation. J. Phys. Oceanogr., 40 (9), 1917–1941.

Bird, E. C. (2011). Coastal geomorphology: An introduction. John Wiley & Sons.

Bruun, P. (1962). Sea-level rise as a cause of shore erosion. J Waterways Harbors Division, 1962 88:117–130

Carvajal, M.; Contreras-López, M.; Winckler, P. And Sepúlveda, I. (2017). Meteotsunamis Occurring Along The Southwest Coast Of South America During An Intense Storm. Pure And Applied Geophysics. Doi:10.1007/S00024-017-1584-0.

Carvajal, M., Winckler, P., Garreaud, R., Igualt, F., Contreras-López, M., Averil, P., ... & Breuer, W. A. (2021). Extreme sea levels at Rapa Nui (Easter Island) during intense atmospheric rivers. Natural Hazards, 106(2), 1619-1637.

CMIP5. Coupled Model Intercomparison Project 5, CMIP5 (2020). https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip5.

Cooper, A., Masselink, G., Coco, G., Short, A., Castelle, B., Rogers, K., Anthony, E., Green, A., Kelly, J., Pilkey, O., Jackson, D. 2020. Sandy beaches can survive sea-level rise. https://doi.org/10.31223/osf.io/4md6e.

Ibaceta, I., Díaz, H., Winckler, P., Catalán, P., Agredano, R., Molteni, F. & Campos-Caba, R. (2017). Evolución morfológica de playas en la escala de tormentas. Aplicación del modelo Xbeach en la Playa Reñaca. XXIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, SOCHID.

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 151. Geneva, Switzerland.

Lemos, G., Menendez, M., Semedo, A., Camus, P., Hemer, M., Dobrynin, M., & Miranda, P. M. (2020). On the need of bias correction methods 776 for wave climate projections. Global and Planetary Change, 186, 103109.

Martínez, C., Contreras-López, M., Winckler, P., Hidalgo, H. Godoy, E., Agredano, R. (2018). Coastal erosion in central Chile: a new hazard? Ocean and Coastal Management, 156: 141-155.

MMA (2019). Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile, Documento preparado por: Winckler, P.; Contreras-López, M.;Vicuña, S.; Larraguibel, C.; Mora,J.; Esparza, C.; Salcedo, J.; Gelcich, S.; Fariña, J. M.; Martínez, C.; Agredano, R.; Melo, O.;Bambach, N.; Morales, D., Marinkovic, C.; Pica, A., Santiago, Chile.

Disponible en https://cambioclimatico.mma.gob.cl/publicaciones-destacadas/ y en un SIG disponible en https://ide.mma.gob.cl/ bajo la pestaña Cambio Climático.

MMA (2020). ARClim: Atlas de Riesgos Climáticos para Chile. Disponible en https://arclim.mma.gob.cl/

Molteni, F., Winckler, P. & Ibaceta, R. (2017). Análisis morfodinámico simplificado de playa ante forzantes oceanográficos y tectónicos. XXIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, SOCHID.

Morales, E. Y Winckler, P. Y Herrera, M. (2020). Costas De Chile. Medio Natural, Gestión Costera, Ingeniería Oceánica Y Cambio Climático. SHOA, CONA y UV. ISBN: 978-956-235-031-0. www.cona.cl/pub/libros/Costas_de_Chile.pdf

Rangel-Buitrago, N., Anfuso, G., Williams, A. (2015). Coastal erosion problems along the Caribbean Coast of Colombia. Ocean & Coastal Management, 114: 120-144.

Rykaczewski, R. R., Dunne, J. P., Sydeman, W. J., García-Reyes, M., Black, B. A., & Bograd, S. J. (2015). Poleward displacement of coastal 831 upwelling-favorable winds in the ocean's eastern boundary currents through the 21st century. Geophysical Research Letters, 42(15), 6424-832 6431.

Taylor, K.E., R.J. Stouffer, G.A. Meehl. (2012). An Overview of CMIP5 and the experiment design. Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 485-498.

Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ayhan, E. (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. *current version 4.3.

Tolman, H., Abdolali, A., Accensi, et al. (2019). User manual and system documentation of WAVEWATCH III (R) version 6.07.

Vousdoukas, M. I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T. A., Athanasiou, P., Luijendijk, A., & Feyen, L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. Nature climate change, 10(3), 260-263.

Winckler, P., Contreras-López, M., Campos-Caba, R., Beyá, J.F. & Molina, M. (2017). El temporal del 8 de agosto de 2015 en las regiones de Valparaíso y Coquimbo, Chile. Latin American Journal of Aquatic Research (LAJAR), 45(4): 622 – 648. DOI: 10.3856/vol45-issue4-fulltext-1.

Winckler, P.; Contreras - López, M.; Larraguibel, C.; Mora, J.; Esparza, C.; Agredano, R. Martínez, C. & Torres, I., (2020a). Informe Proyecto ARClim: Zonas Costeras. Disponible en: https://arclim.mma.gob.cl/

Winckler, P., Aguirre, C.; Farías, L., Contreras-López, M. & Masotti, I. (2020b). Evidence of climate-driven changes on atmospheric, hydrological and oceanographic variables along the Chilean continental coastal zone 163(2), 633-652. Climatic Change. https://doi.org/10.1007/s10584-020-02805-3.