

# El nivel del mar y la erosión de playas en el Perú

---

**Carlos Tavares Corrêa**

*Pontificia Universidad Católica del Perú. Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA)*

TAVARES C. (2022). «El nivel del mar y la erosión de playas en el Perú». En A. Castro y M. I. Merino-Gómez (Eds.) *Desafíos y perspectivas de la situación ambiental en el Perú. En el marco de la conmemoración de los 200 años de vida republicana*. Lima: INTE-PUCP, pp. 342-358. <https://doi.org/10.18800/978-9972-674-30-3.017>

Enlace al libro completo: <https://doi.org/10.18800/978-9972-674-30-3>

**Resumen:** El presente estudio tiene como objetivo analizar la relación entre el aumento del nivel del mar y la erosión de playas en el Perú. A partir del análisis bibliográfico sobre las tendencias del nivel del mar y los estudios sobre las variaciones de la línea de costa, se ha identificado que solamente el 15% de las playas del país retroceden por erosión. En la mayoría de los casos, la erosión se debe a la alteración del balance de sedimentos causado por la presencia de estructuras costeras de protección. Por otra parte, el 85% de la línea de costa se mantiene estable o avanza hacia el mar. Al contrario de lo que se esperaba, el aumento del nivel medio del mar parece tener poca influencia sobre la erosión de playas en el Perú.

**Palabras clave:** Nivel medio del mar. Erosión de playa. Retroceso de la línea de costa. Balance de sedimentos. Estructuras costeras de protección. Perú.

## Sea level and beach erosion in Peru

**Abstract:** This research aims to look into the link between sea level rise and beach erosion in Peru. According to a bibliographic search of sea level trends and shoreline change, only 15 percent of the country's beaches retreat due to erosion. The presence of structures for coastal protection changes the sediment balance and seems to be the major cause of beach erosion in Peru. Otherwise, 85 percent of the coastline remains steady or is moving toward the sea. Contrary to expectations, mean sea level rise appears to have little influence on beach erosion in Peru.

**Keywords:** Mean sea level. Beach erosion. Shoreline retreat. Sediment balance. Structures for coastal protection. Peru.

## Introducción

Las playas oceánicas son ambientes de gran interés a nivel mundial debido a su importancia como área de esparcimiento para la población y de atracción para el turismo. Además, actúan como protección a las infraestructuras construidas próximas a la orilla del mar contra la acción erosiva de las olas o a las inundaciones en condiciones de mareas excepcionales. La capacidad para predecir la erosión de las playas, independientemente de las causas, es uno de los principales requisitos para la toma de decisiones en la gestión costera (Short y Jackson 2013).

Un estudio a nivel global realizado entre los años 1972 y 1984 sobre el estado de las playas promovido por la Unión Geográfica Internacional en 127 países y publicado por Eric Bird (1985) identificó como resultado que más del 70% de las playas arenosas se estaban perdiendo por erosión, un poco menos del 10% se ampliaban en dirección al mar y los 20% restantes no presentaban cambios significativos durante las últimas décadas. Más recientemente, Luijendijk y otros investigadores presentaron nuevos resultados sobre el estado de las playas a nivel mundial a partir del análisis de imágenes satelitales entre 1984 y 2016 (Luijendijk, Hagenaars, Ranasinghe et al. 2018). Según los autores, las playas arenosas ocupan el 31% de las costas de los continentes, excluyéndose aquellas cubiertas por capas de hielo; de la extensión total de estas playas arenosas, el 24% ha retrocedido por erosión, mientras que el 28% ha avanzado en dirección al mar y el 48% ha permanecido estable. La diferencia de resultados entre ambos estudios se explica a partir de las metodologías aplicadas. Mientras que Bird realizó una estimación cualitativa basada principalmente en una encuesta a 200 especialistas de 127 países, Luijendijk y el equipo de investigadores desarrollaron un estudio cuantitativo a lo largo de las costas de todo el planeta. A partir de los planteamientos que describimos inicialmente en el I Congreso Internacional del Cambio Climático y sus impactos (Tavares Corrêa 2017) y, tomando como referencia los resultados alcanzados por Luijendijk y otros en la investigación citada (2018), el presente estudio tiene como objetivo analizar el estado de las playas en la costa peruana en el contexto del aumento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático.

# 1. El Nivel del mar

El nivel del mar es una superficie dinámica que oscila verticalmente a diferentes escalas de tiempo. Desde un punto de vista práctico, se emplea el término «nivel medio del mar» (*Mean Sea Level* – MSL), considerado como el nivel de referencia cero para la altimetría y la batimetría, y corresponde a la media aritmética de los registros de marea durante un intervalo de tiempo equivalente a un ciclo nodal lunar (Kaye y Stuckey, 1973). Como el MSL está referido a un punto establecido en tierra, este debe de ser considerado como un nivel medio del mar relativo (*relative mean sea level* – RMSL). Por otra parte, la altimetría satelital mide la altura de la superficie del mar (*Sea Surface Height* – SSH) empleando un elipsoide como nivel de referencia. El elipsoide es una forma geométrica que en la práctica simplifica la forma irregular del geoide debido a que este representa la superficie del planeta según el potencial del campo de gravedad (Gregory, Griffies, Hughes et al. 2019). De este modo, se mide la altura de toda la superficie del océano a partir de un nivel de referencia común que es el elipsoide y el resultado es el nivel medio del mar global (GMSL).

El aumento del nivel medio del mar global se debe a la combinación de factores como el aporte de agua proveniente del derretimiento de glaciares y capas de hielo continentales, la expansión térmica debido el aumento de temperatura de la capa superficial del océano y el almacenamiento de agua sobre los continentes (Frederikse, Landerer, Carón et al. 2020). Church y otros investigadores estimaron que durante el período entre 1901 y 2010 el nivel medio del mar global aumentó en 0,19 [0,21 a 0,17] metros con una tasa promedio de  $1,7 \pm 0,2$  mm/año (Church, Clark, Cazenave et al. 2013). Posteriormente, el IPCC señaló que el aumento del GMSL entre 1902 y 2015 fue de 0,17 [0,12 a 0,21] metros. Durante este período las tasas de aumento del GMSL se han acelerado de manera progresiva. Entre 1901 y 1990 aumentó de 0,8 – 2,0 mm/año, mientras que entre 2006 y 2015 las tasas fueron de 3,1–4,1 mm/año (IPCC 2019). Anteriormente a la disponibilidad de los satélites como plataforma para medir y determinar los cambios en la superficie del mar, los análisis se basaban exclusivamente en datos históricos de mareas, registrados por mareógrafos en puertos ubicados mayormente en el hemisferio norte (Holgate, Matthews, Woodworth et al. 2013). Además de esta distribución espacial desigual de los mareógrafos entre los hemisferios norte y sur, una buena parte de ellos se encuentran instalados en sectores costeros que son afectados por movimientos verticales de la corteza (Kopp, Hay, Little et al. 2015).

Dada la diversidad de los movimientos verticales, se pueden mencionar brevemente las siguientes causas: el ajuste isostático glacial en las regiones que han sido cubiertas por capas de hielo durante el último período glacial (Wahl, Haigh, Woodworth et al. 2013), las deformaciones tectónicas en zonas sísmicamente activas (Larsen, Echelmeyer, Freymueller et al. 2003); la compactación de sedimentos en llanuras deltaicas (Trnqvist, Wallace, Storms et al. 2008) o aún la subsidencia debido a la reacomodación de las capas sedimentarias en respuesta a la extracción de hidrocarburos o agua subterránea (Syvitski, Kettner, Overeem et al. 2009). Como estos factores actúan solamente en determinadas regiones del planeta, los datos obtenidos por mareógrafos representan solamente el nivel del mar a escala local y es considerado como un

nivel medio del mar relativo (RMSL). Por estas razones, la distribución desigual de los registros de mareas y los movimientos verticales de la corteza son factores que dificultan la reconstrucción del nivel medio del mar global durante el siglo XX con valores más precisos. A partir de la utilización de la altimetría satelital se pudo determinar el nivel medio del mar desde una plataforma cuya referencia se encuentra fuera del planeta y con mayor precisión. Los radares altimétricos instalados en satélites como, por ejemplo, TOPEX/Poseidon (1992-2002), Jason-1 (2002-2008), Jason-2 (2008-2016) y Jason-3 (2016-2020), han estado proporcionando en secuencia y de manera continua estimaciones del nivel medio del mar global (GMSL) desde 1993. Más recientemente, los satélites Sentinel 6A (2020-2025) y Sentinel 6B (2025-2030) continuarán generando datos sobre la superficie del océano durante los próximos años (Donlon, Cullen, Giulicchi et al. 2021). Pese a que la altimetría satelital es la herramienta responsable por el monitoreo del GMSL en la actualidad, los datos de los mareógrafos siguen siendo útiles para el monitoreo del RMSL y también para la calibración entre los resultados obtenidos simultáneamente por radares altimétricos de diferentes satélites (Mitchum 2000; Nerem, Chambers, Choe et al. 2010).

En la costa peruana el comportamiento del nivel medio del mar (RMSL) en las últimas décadas han sido analizados a partir de los datos registrados por el mareógrafo denominado «Callao 2», instalado en La Punta, Callao (12.05°S, 77.15°W). Quispe Arce (2002), por ejemplo, identificó en estos datos de marea un aumento del nivel medio del mar de 1 cm entre 1940 y 1970 y de 4 cm entre 1970 y 2001, contabilizando un aumento acumulado en el RMSL de 5 cm para el período entre 1942 y 2001. Sin embargo, al analizar el intervalo entre 1976 y 2006, Ken Takahashi y otros investigadores identificaron una disminución del orden de  $-2,7 \pm 0,2$  mm/año, cuya tendencia lineal coincidía con los datos de la altimetría satelital (1993-2008) frente a Lima (Takahashi, Mosquera, Aparco et al. 2014). Posteriormente, Rich Taylor (2017) halló un comportamiento similar al encontrado por Takahashi y el grupo de investigadores para los datos del Callao 2 a partir de 1970, cuya tasa anual fue del orden de  $-3$  mm/año. A partir de los datos de marea y de la altimetría satelital disponibles, la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA) desarrolló una herramienta donde se puede obtener datos y proyecciones del comportamiento del nivel medio del mar para todas las regiones costeras con datos de mareógrafos (NASA s.f.). Esta información se basa en los trabajos de Fox-Kemper y otros y de Garner y otros investigadores que elaboraron diferentes escenarios de proyección del nivel medio del mar tomando como línea de base el período 1995-2014 (Kemper, Hewitt, Xiao et al. 2021; Garner, Hermans, Kopp et al. 2021). Para el caso de la costa peruana se pudo estimar que hacia el año 2100 el nivel medio del mar aumentará entre 0,30 m (SSP1-1.9) y 0,80 m (SSP5-8,5 baja confianza) a tasas entre 3,4 y 17,1 mm/año.

## 2. Erosión de playas

Se utiliza el término playa para referirse a la orilla de un cuerpo de agua cubierta con sedimentos como arena o cantos rodados (Shepard 1973). Las playas oceánicas se forman y se encuentran en equilibrio principalmente con la energía de las olas, que determina sus características como forma, dimensión y tipo de sedimentos. Como

las olas son generadas principalmente por la acción del viento sobre la superficie del océano, su energía varía según las condiciones meteorológicas. En muchos lugares del planeta, las olas que llegan a la costa presentan un comportamiento estacional: en determinados períodos, como durante el verano, las olas son más pequeñas, con menos energía y las playas tienden a acumular sedimentos, ser más amplias y cubiertas con arena; mientras que, durante el invierno, las olas son más grandes y con energía suficiente como para retirar gran parte de los sedimentos finos acumulados y reducir el ancho de las playas. El resultado es un fenómeno cíclico de sedimentación y erosión de las playas. Se define, entonces, la erosión de playa como el proceso continuo de remoción que no es compensado por la llegada suficiente de nuevos sedimentos durante el ciclo, que lleva a la playa a disminuir su volumen y a retroceder hacia el continente con el fin de encontrar una nueva posición de equilibrio.

Como se ha mencionado previamente, Luijendijk y otros investigadores (2018) realizaron un análisis sistemático de las costas de los continentes e identificaron que el 24% de las playas a nivel global tienden a la erosión<sup>1</sup>. El aumento del nivel medio del mar global es reconocidamente la principal causa de la erosión de playas en la actualidad (Leatherman, Zhang y Douglas 2000). Por otra parte, si bien la construcción de estructuras costeras como rompeolas, espigones y malecones o la extracción y el dragado de arenas tienen importancia solamente a escala local (Zhang, Douglas, y Leatherman, 2004), no hay duda de que estas actividades humanas alteran el balance de sedimentos y constituyen una importante causa de la erosión de las playas (Xue, Feng, Yin et al. 2009).

En la costa peruana, la erosión de playas ha sido analizada en diversos estudios (León y Tavares Corrêa (2005); Leceta (2009); Tavares, Corrêa y Drenkhan (2010); Grández (2010); Rondón (2011); Tavares Corrêa y Rondón (2013); Tavares Corrêa y Rondón (2015); Tejada (2017); Rondón y Tavares Corrêa (2018), entre otros. La mayoría de estos estudios se basaron en la comparación de líneas de costa en intervalos de años y décadas obtenidas a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales y analizadas en un sistema de información geográfica (SIG) con el empleo de la extensión DSAS (Thieler, Himmelstoss, Zichichi et al. 2017). De manera general, los resultados mostraron que en los sectores costeros ocupados o modificados por estructuras construidas la erosión de playas es evidente y la línea de costa tiende a retroceder hacia el continente. Como ejemplo se puede mencionar la playa de Las Delicias en Trujillo, con tasas de retroceso del orden de 7,5 metros/año (León y Tavares Corrêa 2005), en la Herradura y la Costa Verde (Leceta 2009), Chorrillos (Grández 2010), la playa de Colán al norte de Paita (Rondón 2011) o San Bartolo (Tejada 2017), mientras que en sectores costeros no ocupados, inalterados o deshabitados, la línea de costa presentó estabilidad o avance hacia el océano. En estos casos se puede mencionar el sector entre Puémape y Chicama (Tavares Corrêa y Drenkhan 2010), el de la Yarada de los Palos en Tacna (Tavares Corrêa y Rondón 2013) o la albufera de Medio Mundo (Rodríguez 2017).

---

<sup>1</sup> Sus datos pueden ser visualizados en la siguiente URL: <https://aqua-monitor.appspot.com/?datasets=shoreline>

En el artículo ya mencionado, Luijendijk y otros investigadores identificaron una localidad en el Perú entre los *hot spots* de playas del mundo como un sector erosivo con tasas entre 0,5 y 2 m/año: la bahía de Ite en Tacna. Dado que el período analizado fue el de 1984-2016, no se incluyen los años previos cuando ocurrió un intenso proceso de sedimentación en la bahía de Ite. Esto se debió a que, entre los años de 1960 y 1996 la actividad minera utilizó el río Locumba para la evacuar los relaves hacia el mar (Churata y Chambilla 2019). En la figura 1 se puede observar que la línea de costa del año 1997 fue la que registró el mayor avance de la playa en la bahía de Ite. A partir de ese año, con la interrupción de los aportes de relaves mineros hacia el mar, la línea de costa empezó a retroceder en respuesta a la erosión. Entre 1955 y 1997 había tal abundancia de sedimentos que la línea de costa avanzó alrededor de 1750 m (47 m/año) en la parte central de la bahía. Entre 1997 y 2020, debido a la escasez de sedimentos, las olas empezaron a retirar más sedimentos que depositar y la parte central retrocedió hasta unos 450 metros o 19,5 metros/año. En la extremidad norte, la playa se mantiene más o menos estable porque recibe parte de los sedimentos que provienen de más al sur de la playa.

**Figura 1. Comparación entre las líneas de costa en la bahía de Ite, Tacna**



**Fuente:** Años 1955, 1962, 1976, 1981: fotografías aéreas • Años 1997, 2004, 2010, 2020: imágenes de Google Earth • El fondo corresponde a la imagen del año 2015.

**Elaboración propia. Las líneas de costa de los años 1955 a 2004 fueron elaboradas por Dania Chapell.**

Posiblemente, el sector costero más afectado por la erosión de playas en el Perú se localiza en el distrito de Víctor Larco Herrera, en Trujillo. Este proceso erosivo comenzó a partir de la construcción del puerto de Salaverry, localizado a 15 kilómetros al sur del área metropolitana de Trujillo, en La Libertad. El puerto de Salaverry se inició con la construcción de espigones y un rompeolas con el propósito de facilitar las operaciones portuarias. Con la presencia de estas estructuras, una gran cantidad de sedimentos transportados por las olas a lo largo de la playa se acumularon en el lado sur de la zona portuaria, dando lugar

a intensa acumulación de sedimentos y a la ampliación del ancho de la playa en más de 1200 metros (Figura 2). El bloqueo de estos sedimentos al sur del puerto redujo drásticamente el aporte de arena a las playas ubicadas al norte, tales como Las Delicias, Buenos Aires y Huanchaco. León y Tavares Corrêa (2004) han estimado que las tasas de erosión debido a la escasez de sedimentos fueron del orden de 3,2 m/año entre 1976 y 1997, con un máximo de 7,6 m/año en el balneario de Las Delicias. Paulatinamente, este proceso erosivo avanza hacia las playas más al norte.

**Figura 2. Comparación entre las líneas de costa desde Salaverry hacia Trujillo**

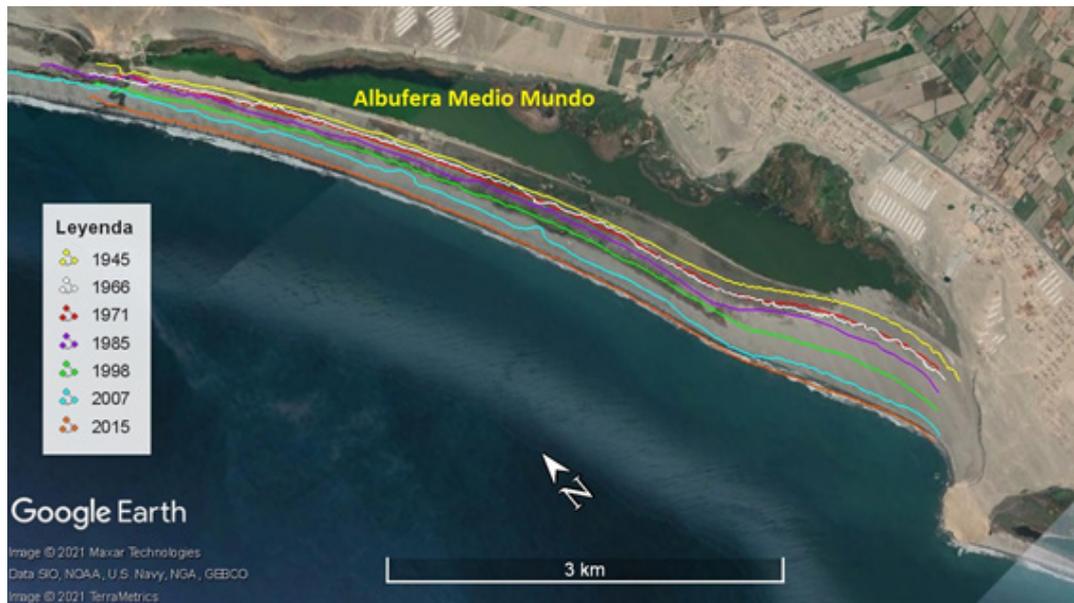


**Fuente:** 1962: fotografías aéreas • 2000, 2015: imágenes de Google Earth • El fondo corresponde a una composición de imágenes de 2015 (izquierda) y 2018 (derecha).

**Elaboración propia. Las líneas de costa de 2000 y 2015 fueron elaboradas por Erich Nakasone.**

Finalmente, un sector que presenta características distintas a las de los ejemplos anteriores es la playa de la albufera de Medio Mundo. Como se puede observar en la Figura 3, la línea de 1945 es la más antigua entre las líneas de costa analizadas y es la que se ubica más al interior de la costa. En dirección al mar, las líneas subsiguientes son cada vez más recientes hasta llegar a la de 2015. Esta tendencia creciente muestra que en este sector de la costa peruana la playa avanza hacia el mar. En este caso, aparentemente, no hay ninguna intervención antrópica, como en los casos anteriores, y tampoco hay una fuente cercana que aporte sedimentos en cantidad suficiente como para promover el crecimiento de esta playa. En este ejemplo, no hay signos de erosión.

**Figura 3. Comparación entre las líneas de costa en la playa de la albufera de Medio Mundo, ubicada en el distrito de Végueta, provincia de Huaura, Lima**



**Fuente:** Líneas de los años de 1945, 1966, 1971: fotografías aéreas • 1985, 1998, 2007, 2015: imágenes de Google Earth • El fondo corresponde a una imagen de enero de 2020.  
**Elaboración propia. Las líneas de 1985, 1998, 2007 y 2015 fueron elaboradas por María Isabel Rodríguez (Rodríguez 2017).**

### 3. Relación entre el nivel del mar y la erosión de playas

El modelo de Bruun (1962) relaciona el aumento del nivel del mar con la erosión de las playas. Se trata de un modelo bidimensional, transversal a la costa, que presenta un perfil de equilibrio ajustado a las condiciones de energía de las olas y a la disponibilidad de sedimentos. A medida que el nivel del mar aumenta, la parte superior de la playa se erosiona y retrocede, mientras que la parte inferior del perfil, por debajo del nivel del mar, se eleva por sedimentación. Así, el resultado neto es de un perfil que se mantiene en equilibrio gracias al desplazamiento hacia arriba, proporcional al aumento del nivel del mar y en retroceso hacia el continente. Pese a las limitaciones del modelo, ampliamente discutidas en la literatura (Davidson-Arnott 2005), diversos autores lo siguen utilizando (Gutierrez, Williams y Thieler 2009; Rosati, Dean, y Walton 2013).

Con base en el modelo de Bruun (1962) se podría esperar que con el aumento del GMSL las playas del planeta deberían de erosionarse y retroceder hasta encontrar un nuevo perfil de equilibrio. En la costa peruana el nivel del mar no presenta un comportamiento similar al observado a escala global. La limitación temporal de los datos de marea, los movimientos verticales de la corteza o, incluso, la variabilidad en la que el sistema acoplado océano-atmósfera interfiere

en el nivel del mar a escala interanual/decenal (Moreira, Cazenave, y Palanisamy 2021) podrían explicar estas diferencias. Sin embargo, las playas se erosionan tanto con el aumento como también en condiciones de relativa estabilidad del nivel de mar. En este caso, la posición de la línea de costa depende del balance de sedimentos, que es el resultado del equilibrio dinámico entre la entrada y la salida de sedimentos de la playa. Este balance de sedimentos puede ser alterado de forma natural a partir de los sedimentos transportados por los ríos o por las actividades humanas, a través de la construcción de estructuras costeras, y ocasionar el avance o el retroceso de la playa por acción de las olas.

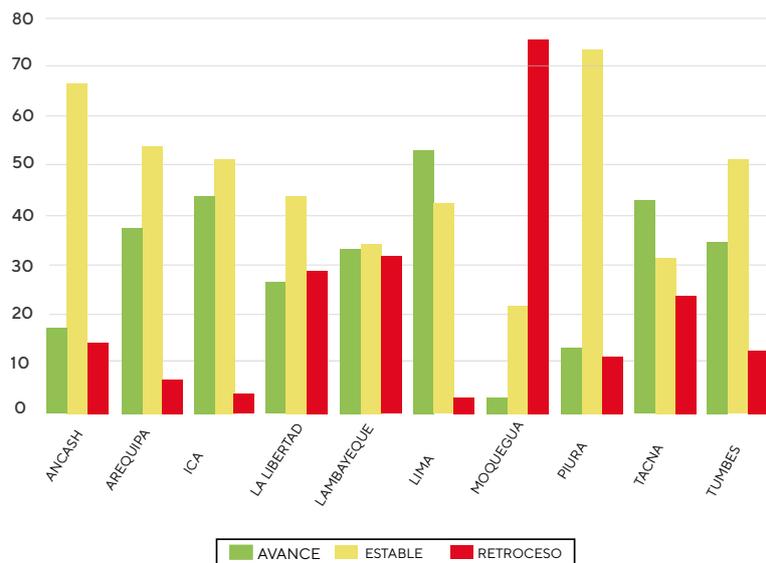
Como ejemplo de alteración del balance de sedimentos por los procesos naturales se puede mencionar el caso de la playa de Máncora, en Piura, que experimentó un gran avance durante el fenómeno de El Niño 1982–83 debido a la activación de una quebrada (Woodman y Mabres 1993). En este mismo evento, el río Jequetepeque, en La Libertad, transportó más de 30 millones de metros cúbicos de sedimentos al océano (Tavares Corrêa y Rondón 2015). Durante el *Niño Costero* de 2017, los ríos de la costa transportaron grandes cantidades de sedimentos al océano formando pequeños deltas que se mantuvieron por varios meses antes de ser erosionados. Por otra parte, la albufera de Medio Mundo es un ejemplo de playa que ha avanzado en dirección al mar sin disponer de una fuente de sedimentos. Un caso similar fue observado en la parte sur del litoral de Tacna cuyo avance de la playa fue del orden de 116 m entre 1955 y 2004 (Tavares Corrêa y Rondón 2013). Al igual que en la albufera de Medio Mundo, no se ha identificado una fuente de sedimentos que explique este aumento del orden de  $\approx 2,4$  m/año.

En cuanto a la alteración del balance de sedimentos en sectores modificados por las actividades humanas se puede mencionar los casos de la bahía de Ite, del Puerto de Salaverry y de la construcción de represas. En todos estos casos, la erosión de playas se produce debido a un desequilibrio en el balance de sedimentos provocado por la interrupción del flujo de sedimentos. En el caso de la bahía de Ite este fenómeno fue muy evidente. Sin el aporte de los relaves mineros hacia el mar la playa dejó de crecer y la erosión empezó a predominar desde 1997. En el caso del puerto de Salaverry, el espigón construido para retener los sedimentos transportados por las olas y favorecer a las operaciones portuarias, ha interrumpido un enorme flujo de sedimentos —entre 40 y 50 millones de metros cúbicos— y provocado erosión a lo largo de 25 kilómetros de playas al norte del puerto. Finalmente, la presencia de represas en los ríos reduce significativamente el aporte de sedimentos al océano. Durante el evento El Niño de 1997–98, la represa de Gallito Ciego, ubicada en el río Jequetepeque, retuvo alrededor de 60 millones de metros cúbicos de sedimentos que estaban destinados al océano (Tavares Corrêa y Rondón 2015).

Finalmente, como un balance de los resultados alcanzados por los estudios mencionados, se puede señalar que —tal como se ha descrito en Tavares Corrêa y Drenkhan (2010)— la erosión de playas en la costa peruana se concentra en aquellos sectores modificados por las actividades humanas mientras que en los sectores en donde no hay actividades u ocupación significativa predomina el avance o la estabilidad de la playa. Así, la erosión identificada se debe solamente a factores de orden local y no debido al aumento del GMSL. Con el fin de validar estas conclusiones, se analizaron los datos del estudio de Luijendijk y otros

investigadores para la costa peruana y los resultados se fueron los siguientes: en el Perú el 15% de la extensión total de la costa está en retroceso (erosión), el 55% es estable y el 33% avanza en dirección al mar. Moquegua es el departamento cuya extensión de la costa presenta mayor porcentaje de retroceso (76%), mientras que Lima es el de mayor avance (54%) y Piura el más estable (74%). Una síntesis de los resultados por departamento se presenta en la Figura 1.

**Figura 1. Porcentaje de avance, retroceso y estabilidad de la costa peruana, según departamento\***



\* La Provincia Constitucional del Callao está considerada dentro del departamento de Lima.

**Fuente: Luijendijk, Hagenars, Ranasinghe et al. (2018).  
Elaboración propia.**

## 4. Conclusiones

A partir de los datos de mareas y de la altimetría satelital se sabe que el nivel medio del mar global aumenta de manera progresiva y que la erosión de playas es una consecuencia de este proceso. Sin embargo, en la costa peruana no se observa esta tendencia de manera muy evidente. La erosión de playas solo ha sido identificada en el 15% de la costa y, en la mayoría de los casos, está asociada a la construcción de estructuras costeras de protección. En los casos descritos, como el del puerto de Salaverry y el de la bahía de Ite, tanto el retroceso, como el avance comparten un mismo sector costero como resultado de las alteraciones en el balance de sedimentos y representan eventos a escala local. La mayor parte de la costa peruana es estable (52%) o avanza (33%) hacia el mar y las razones para este comportamiento no son muy claros, pero pueden estar relacionados tanto con movimientos verticales de la corteza como con interacciones de largo plazo entre la atmósfera y el océano. Según las proyecciones para la costa peruana, el nivel medio del mar aumentará entre 0,30 y 0,80 metros hacia 2100. Se estima que varios de los sectores actualmente expuestos a la erosión, principalmente, aquellos ocupados por centros poblados, van a ser los más vulnerables en la costa peruana al final del presente siglo.

## Referencias

- BIRD E. C. F. (1985). *Coastline changes: a global review*. New York: Wiley & Sons.
- BRUUN P. (1962). «Sea-level rise as a cause of shore erosion». *Journal Waterways and Harbors Division*, 88, pp. 117-130.
- CHURATA A. y W. CHAMBILLA (2019). «Historia de la contaminación de la bahía de Ite por la empresa minera Southern Perú». *La Vida y la Historia*, 10, pp. 70-79. <https://doi.org/10.33326/26176041.2019.10.874>
- CHURCH J.A., CLARK P. U., CAZENAVE A., GREGORY J.M., JEVREJEVAS., LEVERMANN A., MERRIFIELD M. A., MILNE G. A., NEREM, R. S., NUNN, P. D., PAYNE, A. J., PFEFFER W.T., STAMMER D. y A. S. UNNIKRISSHANN (2013). «Sea level change». En Stocker T. F., Qin D., Plattner G-K, Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. y P. M. Midgley (editores.). *Climate change, 2013. The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1137-1216. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi:10.1017/CBO9781107415324.026>
- DAVIDSON-ARNOTT R. G. D. (2005). «A Conceptual Model of the Effects of the Sea Level Rise on Sandy Coasts». *Journal of Coastal Research*, 216, pp. 1166-1172. <http://dx.doi.org/10.2112/03-0051.1>
- DONLONC.J., CULLEN R., GIULICCHIL.VUILLEUMIERP., FRANCISC.R., KUSCHNERUS M., SIMPSON W., BOURIDAH A., CALENO M., BERTONI R. ... G. TAVERNIER (2021). «The Copernicus Sentinel-6 mission: enhanced continuity of satellite sea level measurements from space». *Remote Sensing of Environment*, 258, pp. 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112395>
- FOX-KEMPER B., HEWITT H. T., XIAO C., AÐALGEIRSDÓTTIR G., DRIJFHOUT, S. S., EDWARDS T. L., GOLLEDGE N. R., HEMER M., KOPP R.E., KRINNER G., MIX A., NOTZ D., NOWICKI S., NURHATI I. S. RUIZ, L., SALLÉE J-B., SLANGEN A. B. A. e Y. YU (2021). «Ocean, cryosphere and sea level change». En Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S. L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y, Goldfarb L., Gomis M. I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J. B. R., Maycock T. K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R. y B. Zhou (editores.). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. [En prensa]. Recuperado de <https://sealevel.nasa.gov/data/tools/ipcc-ar6-projections-licensing-and-acknowledgements>

FREDERIKSE T., LANDERER F., CARÓN L., ADHIKARI S., PARKES D., HUMPHREY V. W., DANGENDORF S., HOGARTH P., ZANNA L., CHENG L. e Y. H. WU (2020). «The causes of sea-level rise since 1900». *Nature* 584, pp. 393 - 397. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2591-3>

GARNER G. G., HERMANS T., KOPP R. E., SLANGEN A. B. A., EDWARDS T. L., LEVERMANN A., NOWIKCI S., PALMER M. D., SMITH C., FOX-KEMPER B., HEWITT H.T., XIAO C., ADALGEIRSDÓTTIR G., DRIJFHOUT S. S., EDWARDST.L., GOLLEDGE N. R., HEMER M., KOPP R. E., KRINNER G., MIX A, NOTZ D., NOWICKI S., NURHATI I. S., RUIZ L., SALLÉE J-B, YU Y., HUA L., PALMER T. y B. PEARSON (2021). *IPCC AR6 Sea-Level Rise Projections. Version 20210809*. Recuperado de <https://podaac.jpl.nasa.gov/announcements/2021-08-09-Sea-level-projections-from-the-IPCC-6th-Assessment-Report>

GRÁNDEZ M. I. (2010). «Estudio de la variabilidad de línea de costa: La Chira, Villa, La Encantada de Villa, Cocotero, Country Club Villa, Venecia, Club Lobo de Mar, Barlovento, Conchán y Mamacona. Lima, Perú 1936-2008». Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas, PUCP.

GREGORY J. M., GRIFFIES S. M., HUGHES C. W., LOWE J. A., CHURCH J.A., FUKIMORI I., GOMEZ N., KOPP R. E., LANDERER F., LE COZANNET G., PONTE R. M., STAMMER D., TAMISIEA M. E. y R. S. W. VAN DE WAL (2019). «Concepts and terminology for sea level: mean, variability and change, both local and global». *Survey in Geophysics* 40, pp. 1251-1289. <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09525-z>

GUTIERREZ B.T., WILLIAMS S. J. y E.R. THIELER (2009). «Appendix 2: Basic approaches for shoreline change projections». En Titus J. G. (coordinating lead author), Anderson K. E., Cahoon D. R., Gesch D. B., Gill S. K., Gutierrez B. T., Thieler E. R. and S.J. Williams (lead authors). *Coastal sensitivity to sea-level rise: a focus on the mid-Atlantic region. A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, pp. 239-242.

HOLGATE S.J., MATTHEWS A., WOODWORTH P. L., RICKARDS L. J., TAMISIEA M. E., BRADSHAW E., FODEN P.R., GORDON K.M., JEVREJEVA S. y J. PUGH (2013). «New data systems and products at the Permanent Service for Mean Sea Level». *Journal of Coastal Research* 29 (3), pp. 493-504. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00175.1>

IPCC - PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO (2019). *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate* [Prtner H.-O., Roberts D. C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegría A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B. y N.M. Weyer. (editores)]. <https://www.ipcc.ch/srocc/download-report/>

KAYE C.A. y G. W. STUCKEY (1973). «Nodal tidal cycle of 18.6 years: its importance in sea-level curves of the east coast of the United States and its value in explaining long-term sea-level changes». *Geology* 1 (3), pp. 141-144. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1973\)1<141:NTCOYI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1973)1<141:NTCOYI>2.0.CO;2)

- KOPP R. E., HAY C. C., LITTLE C. M. y J. X. MITROVICA (2015). «Geographic Variability of Sea-Level Change». *Current Climate Change Reports*, 1, pp. 192-204. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0015-5>
- LARSEN C. F., ECHELMAYER K. A., FREYMUELLER J. T. y R. J. MOTYKA (2003). «Tide gauge records of uplift along the northern Pacific-North American plate boundary, 1937 to 2001». *Journal of Geophysical Research*, 108 (B4), 2216. <https://doi.org/10.1029/2001JB001685>
- LEATHERMAN S. P., ZHANG K. y B. C. DOUGLAS (2000). «Sea level rise shown to drive coastal erosion». *Eos Transactions, by AGU*, 81 (6), pp. 55-57. <https://doi.org/10.1029/00EO00034>
- LECETA F. (2009). «Análisis de variabilidad temporal de la línea de costa mediante la aplicación de métodos de teledetección y sistema de información geográfica: bahía de Miraflores, Perú: 1936-2005». Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas, PUCP. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9351>
- LEÓN J. y C. TAVARES CORRÊA (2005). «Quantification in shoreline change in Salaverry, Peru». *Journal of Coastal Research, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium)*, pp. 1013-1016.
- LUIJENDIJK A., HAGENAARS G., RANASINGHE R., BAART F., DONCHYTS G. y S. AARNINKHOF (2018). «The State of the World's Beaches». *Scientifics Report* 8, 6641. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>
- MITCHUM G. T. (2000). «An Improved Calibration of Satellite Altimetric Heights Using Tide Gauge Sea Levels with Adjustment for Land Motion». *Marine Geodesy* 23 (3), pp. 145-166. <https://doi.org/10.1080/01490410050128591>
- MOREIRA L., CAZENAVE A. y H. PALANISAMY (2021). «Influence of interannual variability in estimating the rate and acceleration of present-day global mean sea level». *Global and Planetary Change*, 199, 103450. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103450>
- NASA (s.f.). «Herramienta de proyección del nivel del mar IPCC AR6». *Sea Level Change Observations from space*. Recuperado de <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>
- NEREM R. S., CHAMBERS D. P., CHOE C. y G. T. MITCHUM. (2010). «Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions». *Marine Geodesy* 33 (Sup. 1), pp. 435-446. <https://doi.org/10.1080/01490419.2010.491031>
- QUISPE ARCE J. (2002). «Sea Level Variations in Callao (12° S) - Peru 1942 - 2001». *Investigaciones marinas* 30 (1) Supl. Symp, pp. 101-102. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782002030100017>

RODRÍGUEZ M. I. (2017). «Variación de humedales costeros e irrigaciones agrícolas: el caso de la albufera de Medio Mundo y el área agrícola de Huaura». Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas, PUCP. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9410>

RONDÓN G. (2011). «Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: Bahía de Paita, Perú 1946 – 2007». *Espacio y Desarrollo* 23, pp. 93-114. Recuperado de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/3501>

RONDÓN G. y C. TAVARES CORRÊA (2018). «Adaptación de un Índice de Vulnerabilidad Costera - IVC para el litoral peruano: un estudio de caso». *Espacio y Desarrollo* 31, pp. 33-57. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201801.002>

ROSATI, J. D., DEAN, R. G. y T. L. WALTON (2013). «The modified Bruun Rule extended for landward transport». *Marine Geology*, 340, pp. 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.04.018>

SHEPARD F. (1973). *Submarine Geology*. New York: Harper and Row.

SHORT A. D. y JACKSON D.W.T. (2013). «Beach morphodynamics». En J. Shroder (editor en jefe) y D. J. Sherman (editor), *Treatise on geomorphology: coastal geomorphology*. San Diego: Academic Press, pp. 106-129. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00275-X>

SYVITSKI J. P. M., KETTNER A. J., OVEREEM I., HUTTON E. WH., HANNON M. T., BRAKENRIDGE G. R., DAY J., VÖRÖSMARTY C., SAITO Y., GIOSAN L. y R. J. NICHOLLS. (2009). «Sinking deltas due to human activities». *Nature Geoscience* 2, pp. 681-686. <https://doi.org/10.1038/ngeo629>

TAKAHASHI K., MOSQUERA K., APARCO J., RAMOS Y., FAJARDO J. e I. MONTES. (2014). «Evaluación del posible impacto de la variabilidad y cambio climático en el nivel del mar en la costa de Lima». Investigación en variabilidad y cambio climático. Instituto Geofísico del Perú. Recuperado de [http://met.igp.gob.pe/proyectos/manglares/estudio\\_nivel\\_mar\\_IGP.pdf](http://met.igp.gob.pe/proyectos/manglares/estudio_nivel_mar_IGP.pdf)

TAVARES CORRÊA C. y F. DRENKHAM (2010). «Variación de la línea de litoral entre el puerto Chicama y Puémape, La Libertad, Perú (1961-2006)». *Espacio y Desarrollo*, 22, pp. 103-117. Recuperado de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/5311>

TAVARES CORRÊA C. y G. RONDÓN (2013). «Estabilidad de la línea de costa frente al calentamiento global: análisis de sectores costeros en Tacna y Piura, Perú». *Revista geográfica* 154, pp. 157-178. Recuperado de <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeo/article/view/334>

TAVARES CORRÊA C. y G. RONDÓN (2015). «Impacto de la represa de Gallito Ciego en la estabilidad de línea de costa en la desembocadura del río Jequetepeque, Perú». *Revista Espacio y Desarrollo* 27, pp. 79-101. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201501.004>

TAVARES CORRÊA C. (2017). «El nivel del mar y la variabilidad en la línea de costa peruana». Comunicación presentada al International Congress on Climate Change and its Impacts - ICCCI.

TAYLOR R. (2017). «Recent sea-level change at major cities». *Watts up with that? The world's most viewed site on global warming and climate change*, 29 de marzo. Recuperado de <https://wattsupwiththat.com/2017/03/29/recent-sea-level-change-at-major-cities/>

TEJADA X. (2017). «Análisis de la vulnerabilidad costera frente a un posible aumento del nivel del mar: sector costero Lurín - Pucusana (Provincia de Lima)». Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas, PUCP. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8657>

THIELER E. R., HIMMELSTOSS E. A., ZICHICHI J. L. y E. AYHAN (2017). «Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change». *U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278*. <https://doi.org/10.3133/ofr20081278>

TÖRNQVIST T. E., WALLACE D. J., STORMS J. E. A., WALLINGA J., VAN DAM R. L., BLAAUW M., DERKSEN M. S., KLERKS C. J. W., MEIJNEKEN C. y E. MA. SNIJDERS (2008). «Mississippi delta subsidence primarily caused by compaction of Holocene strata». *Nature Geoscience* 1, pp. 173-176. <https://doi.org/10.1038/ngeo129>

WAHL T., HAIGH I. D., WOODWORTH P. L., ALBRECHT F., DILLINGH D., JENSEN J., NICHOLLS R. J., WEISSE R. y G. WÖPPELMANN (2013). «Observed mean sea level changes around the North Sea coastline from 1800 to present». *Earth-Science Reviews*, 124, pp. 51-67. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.05.003>

WOODMAN R. y A. MABRES (1993). «Formación de un cordón litoral en Máncora, Perú, a raíz de El Niño de 1983». *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 22 (1), pp. 213-226.

XUE Z., FENG A., YIN P. y D. XIA. (2009). «Coastal erosion induced by human activities: a northwest Bohai Sea case study». *Journal of Coastal Research*, 253, pp. 723-733. <https://doi.org/10.2112/07-0959.1>

ZHANG K., DOUGLAS B. C. y S.P. LEATHERMAN (2004). «Global Warming and Coastal Erosion». *Climatic Change* 64 (41). <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000024690.32682.48>

## Breve reseña del autor

---

### **Carlos Tavares Corrêa**

Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad de Concepción, Chile (1996). Magíster en Geografía por la Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil (1990) y Geógrafo por la Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil (1986). Es Profesor Principal de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y docente del Departamento de Humanidades, Sección de Geografía y Medio Ambiente desde 1997. Se ha especializado en ambientes costeros como playas y dunas, vulnerabilidad costera y erosión de playas, el avance de duna y la interacción de los ambientes costeros con las actividades humanas.

**Correo electrónico:** ctavare@pucp.pe

**ORCID:** 0000-0003-4895-6522