

Gabriela García Rubio



# ¿Por qué se **mueve** la **línea de costa**?

Las causas del movimiento de la línea de costa implican procesos físicos como la marea, el oleaje, los ciclones, el transporte de sedimento litoral y barreras a éste, ya sean naturales o hechas por el ser humano. Estos cambios pueden ocurrir en unas pocas horas o en miles de años y afectar las actividades de las personas; por ello, es importante llevar a cabo su estudio y monitoreo.



¿Por qué el mar se mueve constantemente? ¿Cuáles son las repercusiones de esto? La siguiente vez que vayas a la playa cuestionate por qué existen asentamientos humanos tan cercanos al mar cuando claramente éste es muy dinámico. ¿Puede ser benéfico o perjudicial?

Nuestro país está rodeado por dos océanos (Atlántico y Pacífico), por lo que contamos con una extensa zona costera. Para el ser humano, la costa es de especial relevancia, ya que ahí se realizan actividades tanto recreativas como de importan-

cia económica. Los cambios que ocurren en el nivel medio del mar afectan directamente la posición de la línea de costa y, por lo tanto, repercuten directamente en las actividades humanas; de ahí la importancia de su estudio y monitoreo a lo largo del tiempo.

Cuando el mar avanza hacia la tierra o cuando cambia la forma de la playa, ciertos sitios que no eran propensos a inundaciones pueden llegar a serlo; además, su vulnerabilidad aumenta ante el paso de un ciclón o una tormenta. En el contexto del cambio climático y del aumento del nivel medio del mar, las inundaciones y la erosión costera son consideradas entre los efectos más graves ocasionados por el cambio global (IPCC, 1990).

El objetivo de este artículo es explicar las diferentes causas de la variación del nivel medio del mar y, en consecuencia, de la línea de costa a lo largo del tiempo. Se hace énfasis en la importancia de su monitoreo por la relevancia que tienen las costas para las poblaciones.

### ■ **¿Qué es la línea de costa?**

■ Existen muchas definiciones, pero para fines de este escrito, consideraremos que la línea de costa es el sitio donde el mar y la tierra se juntan en un momento dado. Debido a la naturaleza dinámica del mar, la posición de este sitio fluctúa a lo largo del tiempo, ya sea en horas o miles de años. El hecho de que la línea de costa varíe en función del tiempo es muy importante, ya que al definir su ubicación es necesario considerar en cierta medida su variación temporal. Las fluctuaciones de la línea de costa pueden ocurrir en el transcurso de miles de años debido a procesos geológicos, pero también pueden ocurrir en el transcurso de horas por el efecto de tormentas y ciclones (Morton y cols., 2005; Coco y cols., 2014).

De forma más precisa, la posición de la línea de costa implica una elevación o una altura con base en una referencia conocida del nivel del mar. Una altura conocida puede ser el nivel medio del mar, o bien la bajamar media inferior; esto es, el promedio de las mareas más bajas en un tiempo dado. Considerando un corte





transversal, la línea de costa es el punto de intersección de la tierra con el mar. En una vista de planta (desde arriba), la línea de costa presenta oscilaciones que se podrían explicar debido al efecto conjunto de los niveles de agua y la forma de la playa (véase la Figura 1).

La marea, el oleaje y los fenómenos meteorológicos modifican el nivel de agua en el mar. Otros procesos de tipo geológico e hidrodinámicos pueden modificar la línea de costa. Los siguientes párrafos explican brevemente cómo estos diversos factores afectan la posición de la línea de costa.

**Efecto de las mareas**

Las mareas son ondas muy largas que al propagarse causan que el nivel del mar suba y baje de forma periódica, ya sea una (diurna) o dos veces al día (semidiurna). Las mareas se producen por la rotación y la fuerza de gravedad que hay entre la Luna, el Sol y la Tierra. La fuerza gravitatoria entre dos cuerpos depende de la distancia que hay entre ellos y de la masa que cada cuerpo posee. La Luna está a 384 400 km de distancia de la Tierra y es 49 veces más pequeña que ésta. El Sol, en contraste, está a 1 391 000 km de nuestro planeta y es tan grande que se necesitarían 1 300 000 Tierras para completar el volumen del Sol. No obstante, debido a que la Luna está mucho más cerca que el Sol, nuestro satélite natural tiene un efecto más relevante en la generación de las mareas. La fuerza de gravedad entre la Luna y la Tierra atrae a toda la materia, pero sobre todo al agua, por lo que las mareas son mucho más notorias en los mares que en la parte terrestre (las denominadas mareas

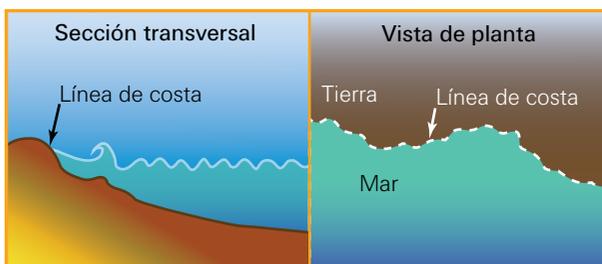
terrestres). Qué tanto sube y baja (amplitud) y cada cuánto tiempo sube y baja (frecuencia) la marea dependerá de la posición de la Luna, el Sol y la Tierra. La posición de éstos tiene una variación importante, por lo que se producen diferentes efectos en la marea en distintos momentos. Por ejemplo, cuando el Sol, la Luna y la Tierra están alineados, sus efectos gravitatorios se suman y se genera una marea particularmente alta.

La marea observada en un punto en particular en la Tierra va a depender más de factores físicos, como el fondo marino, la profundidad del mar, la configuración de la costa o el tamaño de la cuenca, que por su posición (latitud). Cada punto en la costa, considerando los alrededores, tiene una topografía única (Neshyba, 1987; Pugh, 2004). Por ejemplo, en Burncoat Head, Canadá, a una latitud de 45.3° N, está el sitio con la mayor amplitud de marea en el mundo: mayor a 15 metros. En contraste, la amplitud de la marea en la ciudad de Tin, Alaska, a una latitud de 65.9° N, es de 0.45 metros. Ambos sitios están en latitudes altas; sin embargo, la topografía de sendos sitios es muy diferente. Mientras que Tin se encuentra en un sitio más abierto, Burncoat Head está en una bahía que es similar a un canal, por lo que se incrementa el efecto de las mareas.

De manera general, las mareas en México se observan tanto una vez al día como dos veces al día, con amplitudes que van de muy pequeñas a moderadas (<4 metros).

**Efecto de las olas**

En el perímetro costero las olas producen dos efectos que causan una elevación del mar. Por una parte, las olas que avanzan hacia la costa empujan el agua apilándola (Komar, 1998); esta elevación se conoce como apilamiento por oleaje (*wave set-up*). Además de este efecto, cada ola, al romper, tiene un alcance mucho mayor en la cara de la playa y, por lo general, el alcance de la ola está acompañado de espuma blanca; a esta zona se le conoce como “zona de swash”. Estos dos efectos son muy importantes, ya que provocan que el nivel del agua en la costa sea mayor que en el mar abierto. Ambos efectos son



**Figura 1.** Línea de costa en una sección transversal (izquierda) y en una vista de planta (derecha). Las líneas punteadas de la vista de planta representan el oleaje que avanza hacia la costa.

normales en condiciones habituales, pero durante eventos de tormenta pueden producir daños a la infraestructura costera (véase la Figura 2).

### ■ Efecto de los fenómenos meteorológicos

■ Los fenómenos meteorológicos, tales como los ciclones, afectan el nivel del mar de dos formas. La primera ocurre por el cambio en la presión atmosférica. Es decir, cuando la presión atmosférica disminuye, el nivel del mar aumenta; de forma contraria, el nivel del mar disminuye cuando la presión atmosférica aumenta. Los ciclones provocan que la presión atmosférica disminuya, así que el nivel del agua se eleva.

La segunda forma en la que los ciclones pueden modificar el nivel del mar ocurre por un efecto debido principalmente al viento que empuja el agua hacia la costa. Este efecto es extrañamente llamado marea de tormenta (*storm surge*), a pesar de que no se relaciona con la influencia de la Luna y otros astros; un nombre más adecuado sería elevación por tormenta. Esta elevación puede ser mayor o menor, dependiendo de las características del fondo marino y de la configuración costera. También puede llegar a ser muy grande, por ejemplo, como ocurrió tras el paso del huracán Galveston en 1915, que produjo una elevación de más de 4 metros sobre el nivel medio del mar. Dicho huracán dejó aproximadamente 275 muertos y afectó 90% de los poblados que encontró a su paso, con un daño estimado en 13 millones de dólares (NOAA, 2015).

### ■ Procesos naturales de una playa

■ Las características y los procesos que ocurren en la playa también afectan la posición de la línea de costa. En esta sección se describe, de manera general, tanto la forma de la playa como la dinámica que aquí ocurre.

#### Forma de la playa

La forma de una playa es el resultado del origen geológico, el tamaño del sedimento, la energía del oleaje, los fenómenos meteorológicos y las corrientes marinas. En su estado natural, las playas se compo-

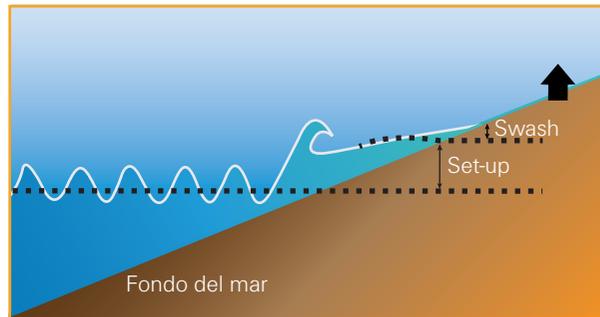


Figura 2. Efecto del oleaje en la playa. La línea punteada indica la elevación relacionada con el apilamiento por el oleaje y el límite máximo de alcance del oleaje en la cara de la playa (swash).

nen de duna, berma, escarpe, cara de la playa y barra arenosa. Las dunas, hechas de arena, están ubicadas en la parte más alta de la playa y son una defensa natural para la infraestructura costera. La berma es la porción prácticamente horizontal de la playa que ha sido formada por el sedimento depositado por las olas; algunas playas pueden tener más de una berma a diferentes elevaciones. El escarpe es un declive abrupto del terreno causado por el oleaje. La cara de la playa es la pendiente que se encuentra por debajo de la berma y, por lo general, está expuesta al efecto del swash de las olas. Las barras arenosas se encuentran por debajo del agua, paralelas a la playa, a lo largo de grandes distancias, y pueden presentarse de forma continua o interrumpida; éstas pueden ser visibles en condiciones de marea baja (véase la Figura 3).

#### Dinámica de la playa

En esta sección se describe brevemente la interacción del oleaje con la forma de la playa. En el mar, el

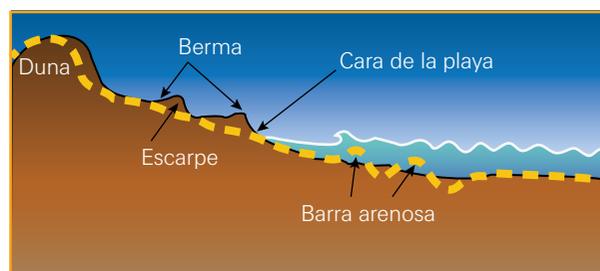


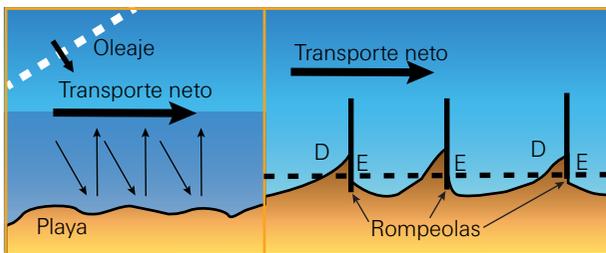
Figura 3. Componentes más importantes de la playa: duna, berma, escarpe, cara de la playa y barra arenosa. La línea punteada representa los cambios que ocurren en el perfil de la playa durante la época de invierno.



sedimento está a la deriva con el oleaje y las corrientes. La playa se mueve siguiendo el ritmo del mar. El movimiento del sedimento también depende de su tamaño. Si las corrientes no son lo suficientemente fuertes, la fracción más gruesa del sedimento se depositará en el fondo marino, mientras que la fracción más fina estará en suspensión en el agua.

Cuando el oleaje llega a la costa con cierto ángulo, produce una corriente litoral que un gran número de autores ha estudiado (Davies, 1980; Ingle, 1996; Inman y Bagnold, 1963; Komar, 1998). Esta corriente viaja como si fuese un río paralelo a la costa y transporta sedimento a lo largo de ésta, como se observa en la Figura 4.

El oleaje también mueve el sedimento tanto hacia el mar como hacia la costa. La cantidad de sedimento, la fuerza de las corrientes y el oleaje tienen una variación a lo largo del año, por lo que la playa presenta cambios estacionales relacionados con la hidrodinámica. Por ejemplo, en verano el oleaje no es muy alto, lo cual permite que el sedimento se deposite en las playas y las haga más anchas y con una berma más alta (línea sólida, Figura 3). En invierno, con un oleaje más alto, el sedimento es transportado de la playa al mar, por lo que la berma es más baja, el ancho de playa disminuye y se genera una barra de arena en la zona en donde las olas rompen (línea punteada, Figura 3). Todos estos cambios son naturales y periódicos. Los procesos que intervienen en la forma de las playas son complejos: los efectos del viento, el oleaje, las corrientes, la forma del fondo marino, la forma de la playa y la marea se conjugan para moldear la línea de costa.



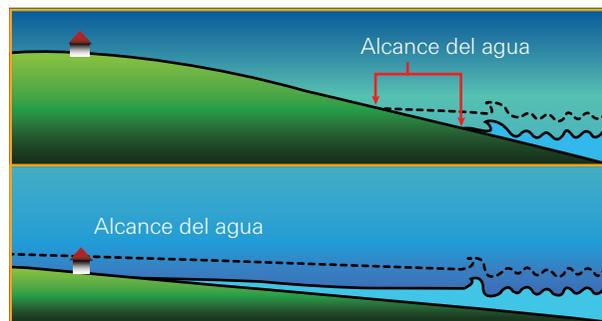
**Figura 4.** Transporte litoral del sedimento. Las líneas punteadas indican la dirección del oleaje. La flecha gruesa (izquierda) indica la dirección del transporte de sedimento. Modificación en la línea de costa por la presencia de rompeolas: el sedimento se deposita (D) y se erosiona (E).

Ahora bien, cuando la corriente litoral encuentra un obstáculo, ya sea natural (rocas, islotes o incluso la forma de la playa) o hecho por el ser humano (rompeolas, escolleras, entre otros), hay una disminución en la cantidad de sedimento transportado; esto provoca que se deposite en el sentido de la corriente y haya erosión en el sentido contrario, como se ilustra en la Figura 4. Cuando el flujo es interrumpido antes de llegar al mar, también se observa erosión. En la construcción de presas, el sedimento es retenido, lo que también provoca erosión en las playas aledañas.

Por otro lado, el movimiento de la línea de costa, ya sea hacia el mar o hacia la tierra, depende en gran medida de la pendiente de la playa. Por ejemplo, suponiendo una elevación del nivel del mar de 10 cm en una playa con una pendiente abrupta de 1:10 en la zona entremareas, se produciría un avance del mar hacia la tierra de 1 metro, mientras que en una playa con una pendiente más ligera, similar a las playas arenosas que estamos acostumbrados a visitar, se produciría un avance de 3 metros, tal como se ilustra en la Figura 5.

## ■ Discusiones y conclusiones

■ En este artículo se han descrito de forma general los factores que intervienen en el movimiento de la línea de costa: se han considerado factores que modifican el nivel del mar, como fenómenos meteorológicos, efectos de las mareas, efectos del oleaje en



**Figura 5.** Esquema que muestra la diferencia del alcance del mar al arribar a la costa en una pendiente abrupta (arriba) y una pendiente suave (abajo). La línea sólida indica las condiciones típicas del nivel del agua; la línea punteada indica condiciones de tormenta.

la zona cercana a la costa, transporte de sedimento a lo largo de la costa y barreras del sedimento. La dinámica que existe en la zona costera es compleja y responde a cambios estacionales y a las modificaciones hechas por el ser humano.

Es necesario estudiar a detalle los cambios que ocurren en la costa considerando las variaciones del nivel del mar, la profundidad, el oleaje, las corrientes, la presión atmosférica y los vientos. Los efectos que ocurren en la elevación en el mar y en el perímetro de la costa aún no son predecibles por completo; por ello, es necesario realizar más investigación al respecto. Más aún, en el contexto del cambio climático y de la elevación del nivel medio del mar, resulta de enorme relevancia tratar de preservar los componentes naturales de las costas. La proyección del aumento del nivel medio del mar es de 80 cm para el año 2100 (Church y cols., 2010). El aumento del nivel del mar y la mayor frecuencia de ciclones pueden acrecentar la vulnerabilidad de la población e infraestructura costeras. Asimismo, la modificación del sedimento también tiene un efecto en la pérdida de playas; la remoción de dunas y de la vegetación natural produce un déficit de sedimento y hace más vulnerable a la zona costera en caso de tormentas o ciclones. Por ello –de ser posible–, la restauración de dunas se puede utilizar para recuperar su función de protección natural para la población.

Realizar un monitoreo de todos los procesos que ocurren en la playa es una tarea titánica. México posee una gran extensión de litoral (>11 000 km), por lo que sería útil enfocarse primero en sitios de interés. En la medida en que haya un mejor conocimiento sobre cómo y por qué ocurren dichos cambios, se podrá disminuir la vulnerabilidad de la población e infraestructura costeras ante la presencia de ciclones o tormentas.

#### Gabriela García Rubio

Investigadora independiente.  
gabgarciarubio@gmail.com



#### Lecturas recomendadas

- Church, J. A., T. Aarup, P. L. Woodworth *et al.* (2010), *Sea Level Rise and Variability - Synthesis and Outlook for the Future*, Francia, UNESCO/IOC.
- Coco, G., N. Senechal, A. Rejas *et al.* (2014), “Beach response to a sequence of extreme storms”, *Geomorphology*, 204:493-501.
- Davies, J. L. (1980), *Geographical Variation in Coastal Development*, 2.<sup>a</sup> ed., Nueva York, Longman.
- Ingle, J. C. (1966), *The Movement of Beach Sand*, Nueva York, Elsevier.
- Inman, D. L. y R. A. Bagnold (1963), “Littoral processes”, en: M. N. Hill (ed.), *The Sea*, Nueva York, Wiley-Interscience, pp. 529-553.
- IPCC (1990), *Policymaker's: Summary of the Potential Impacts of Climate Change. Report from working group II*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Komar, P. D. (1998), *Beach Processes and Sedimentation*, Nueva Jersey, Prentice-Hall.
- Morton, R. A., T. Miller y L. Moore (2005), “Historical Shoreline Changes Along the US Gulf of Mexico: A Summary of Recent Shoreline Comparisons and Analyses”, *Journal of Coastal Research*, 21(4):704-709.
- Neshyba, S. (1987), *Oceanography: Perspectives on a Fluid Earth*, Nueva Jersey, John Wiley, 506 pp.
- NOAA (2015), *Storm surge and coastal inundation: Event History*, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
- Pugh, D. (2004), *Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate*, Cambridge, Cambridge University Press.