



Figura 2: Propagación de tsunami en la costa de Japón en marzo de 2011 (fuente: Kyodo News/Associated Press)

minado. El desarrollo demográfico y económico en las costas ha ido en aumento en las últimas décadas, lo cual también ha ocasionado que exista una mayor infraestructura en situación de vulnerabilidad, así como mayor población. Con esto, podemos pensar que entre mayor presión demográfica exista en una zona es más vulnerable, lo cual es cierto, pues el daño que puede causar un peligro va a ser mayor. De esta manera, cada día es más importante conocer los peligros y vulnerabilidades de la costa para evitar situaciones de alto riesgo tanto de pérdidas humanas como de daños, frecuentemente irreversibles, al medio ambiente costero.

Los peligros que se presentan en la costa son muy variados, al igual que sus orígenes, por lo cual es conveniente separarlos en distintos grupos. A continuación daremos una descripción de cada uno de ellos y las distintas componentes que los caracterizan.

1. TIPO DE PELIGROS

1.1 INUNDACIONES

Las inundaciones en las zonas costeras pueden ser resultado de varios fenómenos distintos y pueden tener diferentes consecuencias dependiendo de las características de las inundaciones. Estas pueden implicar solo un aumento del nivel de agua ocasionando daños mucho menores a inundaciones que implican

corrientes. Entre los fenómenos que ocasionan aumento en el nivel del mar tenemos:

- **Huracanes:** Estos fenómenos meteorológicos causan un aumento en el nivel del mar de dos tipos. Por un lado, al ser depresiones tropicales que giran alrededor de un centro de baja presión (ojo del huracán) producen un aumento del nivel del mar ya que al descender la presión atmosférica, el nivel del mar tiende a subir compensando ese descenso. Esto podemos imaginarlo como un domo de agua en el ojo del huracán, el cual se transmite de manera radial conforme el huracán se mueve y puede llegar a las costas. Por otro lado, los fuertes vientos del huracán, sobre todo cuando se aproximan a la costa, apilan gran cantidad de agua, debido al empuje que ejerce el viento sobre el agua, la cual en la costa se va acumulando y aumentando en nivel. Este último fenómeno se conoce como marea de tormenta.
- **Tormentas extratropicales:** Estos fenómenos meteorológicos de gran escala, generan mareas de tormenta similares a las del huracán. En el Golfo de México los fenómenos de este tipo que mayor peligro representan son los Nortes. El viento constante y de gran intensidad proveniente del norte, apila gran cantidad de agua, en particular en las costas de cara al norte o semi-encerradas como lo son bahías y lagunas costeras.

Mareas astronómicas: Estas son generadas particularmente por la atracción de la gran masa de agua (océano) por la Luna y el Sol, por lo que tienen ciclos relacionados con estos astros. Las mareas son el fenómeno oceanográfico más predecible que existe, por lo cual fácilmente se puede planear en torno a ellas y generalmente no son un peligro. Sin embargo, si algún otro peligro se presenta durante una pleamar, el efecto destructor del peligro aumenta, ya que al existir un nivel del mar alto, el peligro tendrá mayor alcance sobre la tierra.

Tsunamis: Si bien el tsunami es una ola, sus características son muy distintas al oleaje que se presenta comúnmente en las playas. Los tsunamis se generan debido a un evento sísmico, donde el desplazamiento de la tierra es reflejado sobre el nivel del mar, generando una onda de pequeña altura pero muy larga, que se propaga muy rápido por miles de kilómetros cruzando el océano. Al llegar a las zonas costeras donde la profundidad del fondo marino disminuye, dicha onda se acorta y su altura aumenta de manera muy importante, llegando a tener una altura de 10 metros o más. En tierra, el tsunami se manifiesta como una gran masa de agua que se desplaza sobre la superficie e inunda todo a su paso. La cantidad de agua que desplaza el tsunami es enorme y la fuerza de esa masa de agua con la velocidad que lleva puede tener efectos devastadores, como los que se vieron en Asia en 2004 o recientemente en Japón en marzo de 2011.

Oleaje no rompiente: A pesar de que siempre imaginamos la fuerza devastadora del oleaje cuando éste rompe sobre la playa o estructuras, el oleaje puede no romper. Por ejemplo, debido al incremento del nivel del mar por la marea de tormenta, es posible que un muro de protección sirva para reflejar una ola incidente, sin que esta sufra rompimiento. Dicho oleaje podría generar una erosión al pie de la estructura, causando su colapso, haciendo que el oleaje no rompiente sea un peligro inminente.

Oleaje rompiente: Sin duda este oleaje es el que representa mayor peligro, siendo que la fuerza de este oleaje es de 4 a 5 veces mayor que la del oleaje no rompiente. El oleaje rompiente, al impactar estructuras puede ocasionar graves daños, así como socavar las cimentaciones, lo cual puede llevar al colapso de grandes construcciones, como sucedió en Rosarito en el invierno 1997/1998 y en Cancún en Octubre de 2005. Debido a que el oleaje rompe aproximadamente cuando la profundidad es igual a la altura de la ola, el aumento del nivel del mar por mareas astronómicas y de tormenta, puede hacer que el oleaje rompa incluso en zonas donde no esperaríamos que llegara el oleaje, ocasionando graves daños. Por otro lado, en algunas playas, el oleaje al romper puede hacer que las pequeñas rocas que conforman



Figura 3: Erosión de playas en Yucatán

la playa salgan disparadas como proyectiles, ocasionando de igual manera grandes daños.

Runup de oleaje: Esto se refiere a la distancia que recorre el oleaje sobre una pendiente inclinada, de manera general podríamos decir que una vez que el oleaje ha roto, el runup es el desplazamiento del agua de la ola sobre la pendiente de la playa. Durante eventos extremos, el runup puede tener fuertes corrientes asociadas, generando importantes erosiones tanto de la playa como de la base de estructuras, y acarreando material que puede generar daños. El runup también puede sobrepasar la duna de la playa o estructuras de protección o de infraestructura en general, inundando zonas que en principio estarían protegidas.

1.2 VIENTOS INTENSOS

Las zonas costeras, por su localización junto al mar, están expuestas a vientos que se desplazan sobre el mar sin ningún obstáculo vertical, y que por tanto pueden tener velocidades muy grandes. La velocidad del viento puede alcanzar tal magnitud para levantar escombros que se convierten en proyectiles que destruyen ventanas y generan cuantiosos daños. A esto se añade otro efecto importante que es la presión que ejerce el viento sobre las estructuras y que puede hacer que estas se colapsen. Por esta razón durante el paso de un huracán se recomienda que una casa no sea cerrada herméticamente y permita el paso del viento, evitando daños debido a diferencias de presión entre el exterior y el interior.

1.3 EROSIÓN DE PLAYAS

Las playas son una zona muy dinámica, y la arena que la conforman está en constante movimiento debido al oleaje, las corrientes e incluso el viento. Es importante mencionar que las playas no se componen únicamente por la zona donde rompen las olas y la zona aledaña no vegetada donde solemos estar cuando vamos a

la playa para recreo, sino que la duna, o grupo de dunas costeras, frecuentemente vegetadas, también hacen parte de la playa. Generalmente durante los veranos las zonas no vegetadas de las playas son anchas como respuesta al oleaje suave que tiende a acumular arena, sin embargo durante los inviernos, debido a las tormentas locales y vecinas, el oleaje más energético tiende a erosionar las playas, poniendo la arena en barras sumergidas a mayor profundidad (misma que el oleaje de verano pone de vuelta sobre la playa). Por otro lado, debido a la presión que continuamente viene ejerciendo el hombre en las costas, en particular con construcciones sobre la duna, es también común que la erosión sea gradualmente irreversible en invierno (o durante las tormentas), haciendo que las playas no se recuperen en verano y se vayan perdiendo poco a poco, año con año. Esto es un grave problema, pues a fin de cuentas la mejor protección que puede existir en la zona costera contra los embates del oleaje y las inundaciones es la misma playa. De manera general podemos hablar de dos tipos de erosión:

- **Erosión a corto plazo:** Esta es la erosión que ocurre debido a un evento de tormenta, lo cual puede durar uno (al paso de un huracán) o varios días (al paso de una tormenta extratropical). Esta erosión es la más apreciable, aparatosa y destructiva, por lo que se le presta mucha atención y es la que lleva a tomar medidas inmediatas, las cuales desafortunadamente no siempre son las mejores por falta de diseño y planeación. Si bien es cierto que este tipo de erosión es la que afecta directamente la infraestructura, si existiera una playa con un ancho suficiente para proveer protección, probablemente los efectos de las tormentas serían fuertemente mitigados, como se mencionó anteriormente. La erosión a corto plazo conlleva a la erosión del perfil de playa, dañando la duna natural y/o socavando las fundaciones de estructuras, permitiendo que las inundaciones tengan mayor alcance tierra adentro y final-

mente generando daños muy fuertes que pueden llevar hasta el colapso de grandes estructuras como casas, carreteras, etc.

- **Erosión a largo plazo:** Día a día el oleaje llega a todas las costas y mueve la arena de las playas en un movimiento aproximadamente paralelo a la costa, lo cual se conoce como el transporte litoral. Muchas veces, si el suministro de arena es constante y suficiente, no hay erosión de la playa, pero eso es la excepción en las playas en zonas con fuerte presencia de infraestructura (es decir, playas antropizadas), donde las obras de puertos y espigones (que interrumpen o modifican el transporte litoral), presas en ríos (que interrumpen el suministro de sedimento de la cuenca a la zona costera), , etc, tienen un efecto sobre la disponibilidad de arena y por tanto generan una paulatina erosión de la playa. Como esta reducción del ancho de playa es crónico, es decir de pequeña amplitud pero constante día a día, la erosión no es apreciable a corto plazo, sin embargo, al presentarse un evento extremo que genera la erosión a corto plazo, puede suceder que la playa ya no tenga las características necesarias (ancho de playa suficiente, existencia de duna de protección, ausencia de estructuras muy cercanas a la línea de costa) para recibir y soportar el impacto sin perder irreversiblemente su estabilidad. De esta manera, la erosión a largo plazo es un fenómeno importante que debe de tomarse en cuenta para la prevención de desastres en la zona costera y debe ser incorporada en los planes de manejo de la zona costera.

DEPOSITACIÓN

Si bien el depósito de arena no representa un peligro grave en la costa, sí genera daños y/o afecta el desarrollo de procesos naturales o actividades que tienen lugar en la costa. La erosión a corto plazo normalmente deposita la arena en barras a mayor profundidad, lo cual puede afectar localmente algunos ecosistemas (zona de pastos marinos, arrecifes, zonas de desova,). Además, en ocasiones donde el aumento del nivel del mar es importante, dicha arena también puede depositarse tierra adentro, sepultando áreas importantes en tierra, con la consiguiente afectación al medio ambiente y la infraestructura. En cuanto la erosión a largo plazo, muchas veces la arena se deposita en las dársenas y canales de los puertos y marinas, que si bien no es realmente un peligro, si ocasiona importantes gastos al tener que mantener la profundidad de diseño por medio de dragados.

2 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Conociendo los peligros más importantes que pueden presentarse en las costas, la pregunta que sigue es ¿qué hacer frente a los peligros costeros? La respuesta es muy compleja, razón por la cual no existe una solución única y sencilla, y más bien recomendaciones que deben analizarse caso por caso y adecuarse a cada zona, siempre realizándose de manera integral y considerando



Figura 4: Campo de espigones para la protección costera

toda la complejidad de factores y actores en la costa. Es por esto que en la última década el término de “gestión integrada de la zona costera” ha sido empleado constantemente. A continuación se presentan algunas medidas y técnicas que pueden ser utilizadas para mitigar los daños debido a peligros costeros, las cuales están encaminadas a reducir la vulnerabilidad en la costa, más que a reducir el peligro, lo cual es imposible a corto plazo y muy difícil y mismo incierto a largo plazo.

2.1 RELLENOS DE PLAYA

Ya hemos mencionado que las mismas playas sirven de protección ante los peligros que se presentan en la zona costera. Si el hombre no protege y asegura la conservación de las playas, éstas inminentemente serán afectadas y perderán su capacidad para, a su vez, proteger la zona costera ante los eventos extremos. De esta manera, la recuperación artificial de las playas, comúnmente llamada “relleno de playa”, ha tomado una gran popularidad en las últimas décadas como medida de protección costera, buscando recrear un ancho de playa adecuado para mitigar los embates de las fuerzas del mar durante eventos extremos. Existen muchos casos de éxito, desde los de playas que se han rellenado y su ancho se ha conservado sin o con muy poco mantenimiento, hasta casos en donde una playa regenerada se ha perdido después de un huracán pero ha protegido la zona terrestre adyacente. En efecto, la función de la playa no solo es proveer un espacio de recreación para los turistas, sino proveer protección a la infraestructura y los ambientes costeros, por tanto si la playa regenerada se perdió, pero no se sufrieron daños o afectaciones a los ambientes terrestres adyacentes, entonces la regeneración cumplió en gran medida con su objetivo. Por más caro que sea el relleno de playa, nunca se podrá equiparar con el costo que puede tener reconstruir o restaurar una zona costera tras sufrir un desastre. Esto es muy importante decirlo, pues la gente tiene la percepción de que los rellenos de playa equivalen a tirar el dinero al mar y no es así. Incluso, un buen diseño debe de considerar la normal y frecuentemente previsible reducción de la playa antes del embate de un evento extremo, tomando en cuenta que parte del material producto de ese ancho reducido generará una barra sumergida que también proveerá de protección ante un evento extremo. Es importante también decir que para que un relleno de playa sea exitoso, se debe de considerar la dinámica costera (oleaje, corrientes, tipo y tamaño de arena, entre otros) y hacerse un diseño apropiado a cada caso.

2.2 REGULACIÓN

Está claro que al aumentar la presencia humana sobre la costa nos hemos vuelto más vulnerables a los peligros costeros. Hace siglos, los tsunamis como el de Indonesia en 2004 o el de Japón en 2011 no hubieran tenido los efectos que tuvieron, simplemente porque no existía tanta infraestructura humana susceptible de sufrir un daño. Es así que la regulación costera es una parte fundamental

para reducir los posibles daños que pueden ocasionarse ante la presencia de los peligros en la costa. La regulación debe ser insertada dentro de un marco de manejo de zona costera y debe incluir al menos la regulación de conservación de ambientes naturales de importancia, de uso de suelo, códigos de construcción y determinación de zonas de amortiguamiento y tránsito. Desafortunadamente en México no existe una ley de costas, y las regulaciones que existen para la zona costera son limitadas. Existe un gran camino por recorrer en el tema de regulación costera

2.3 ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN COSTERA

Tradicionalmente se han utilizado estructuras fijas para controlar la erosión costera y tratar de mantener una playa con un ancho adecuado para proteger la zona ante los diversos peligros que se pueden presentar. Es importante mencionar que la ingeniería de costas es una ciencia muy reciente que tiene sus orígenes y gran influencia de la ingeniería portuaria, en la cual las estructuras son indispensables. Por otro lado, en muchas partes del mundo, los primeros problemas de erosión costera han sido derivados de la construcción de puertos, por lo que estos han tomado acciones para mitigar la erosión, generalmente por medio de estructuras. A continuación describiremos brevemente los distintos tipos de estructuras para protección costera.

- **Espigones:** Son estructuras aproximadamente perpendiculares a la playa y apoyadas en el lecho marino, que tienen como objetivo atrapar la arena que es transportada por las corrientes de manera paralela a la costa. Estas estructuras pueden utilizarse de manera individual o poner lo que se conoce como un campo de espigones. Actúan reduciendo el transporte de arena, depositando arena en la zona por la cual llega el acarreo de la misma, pero resultando en erosión del otro lado, por lo cual se utilizan campos de espigones para mitigar su efecto. Es importante utilizarlos en zonas donde el espigón final no ocasione daños costa abajo.
- **Escolleras:** Son similares a los espigones, aunque generalmente son más largos y su objetivo es estabilizar canales de navega-



Figura 5: Restauración de dunas (fuente: Virginia Institute of Marine Science)



Figura 6: Regeneración de playas en campo de espigones

ción de puertos o marinas o de entrada de agua (en el caso de las termoeléctricas). Al igual que los espigones, generan acumulación de arena de un lado y erosión del otro.

- **Rompeolas:** Los rompeolas para protección costera son generalmente paralelos a la playa o tiene un ligero ángulo y su función es reducir la energía del oleaje en la playa, resultando en la depositación de arena detrás de este. Los rompeolas pueden ser sumergidos o expuestos, cada uno de ellos con sus ventajas y desventajas.
- **Muros, revestimientos y gaviones:** El objetivo de estas estructuras no es proteger la playa si no la infraestructura. Como se mencionó anteriormente, es muy importante estudiar la viabilidad de estas estructuras ya que su uso puede ser contraproducente.
- **Otros sistemas:** Existen otros sistemas menos tradicionales como es el bombeo de agua fuera del lecho de arena que conforma la playa y así se encuentre ésta más consolidada ante el embate del oleaje, así como el uso de geotubos, de estructuras biodegradables, de mallas, etc. Es importante estudiar cada caso para no crear nuevos problemas al usar estos métodos.

2.4 RESTAURACIÓN DE AMBIENTES NATURALES EN LA PLAYA

Además del impacto negativo que pueden tener los desarrollos humanos en la costa sobre el medio ambiente, este impacto puede destruir elementos de la naturaleza que sirven de protección contra los peligros concretos. Un caso típico son las dunas costeras, las cuales muchas veces son destruidas para poner una

casa o para que no tapen la vista al mar, sin embargo, las dunas hacen parte integral de las playas y son una excelente estructura de protección contra las inundaciones, el embate de las olas y la erosión. De esta manera, la restauración de dunas es un excelente método de protección costera, que combinado con un relleno de playa es probablemente la mejor alternativa de protección, no sólo protegiendo ante eventos adversos, pero generando hábitat y recuperándose el medio natural.

2.5 MANEJO DE RECURSOS COSTEROS

El manejo de los recursos costeros es imprescindible, ya que se actúa sobre los problemas que generan la erosión de las playas. Por ejemplo, crear un plan de manejo de sedimentos a nivel regional puede llevar a que se implementen soluciones para que el sedimento retenido por las presas llegue naturalmente o se coloque en la costa y de esta forma evita el incremento del déficit de arena en las corrientes del litoral. Los trasvases de arena son otra estrategia de manejo, donde la arena atrapada por estructuras de los puertos o sus dársenas y canales de entrada, es dragada y depositada corriente abajo para que se siga alimentando las playas adyacentes. Otro ejemplo importante son los humedales y los manglares, los cuales también actúan para amortiguar el efecto de eventos adversos que generan inundaciones. 🚧

