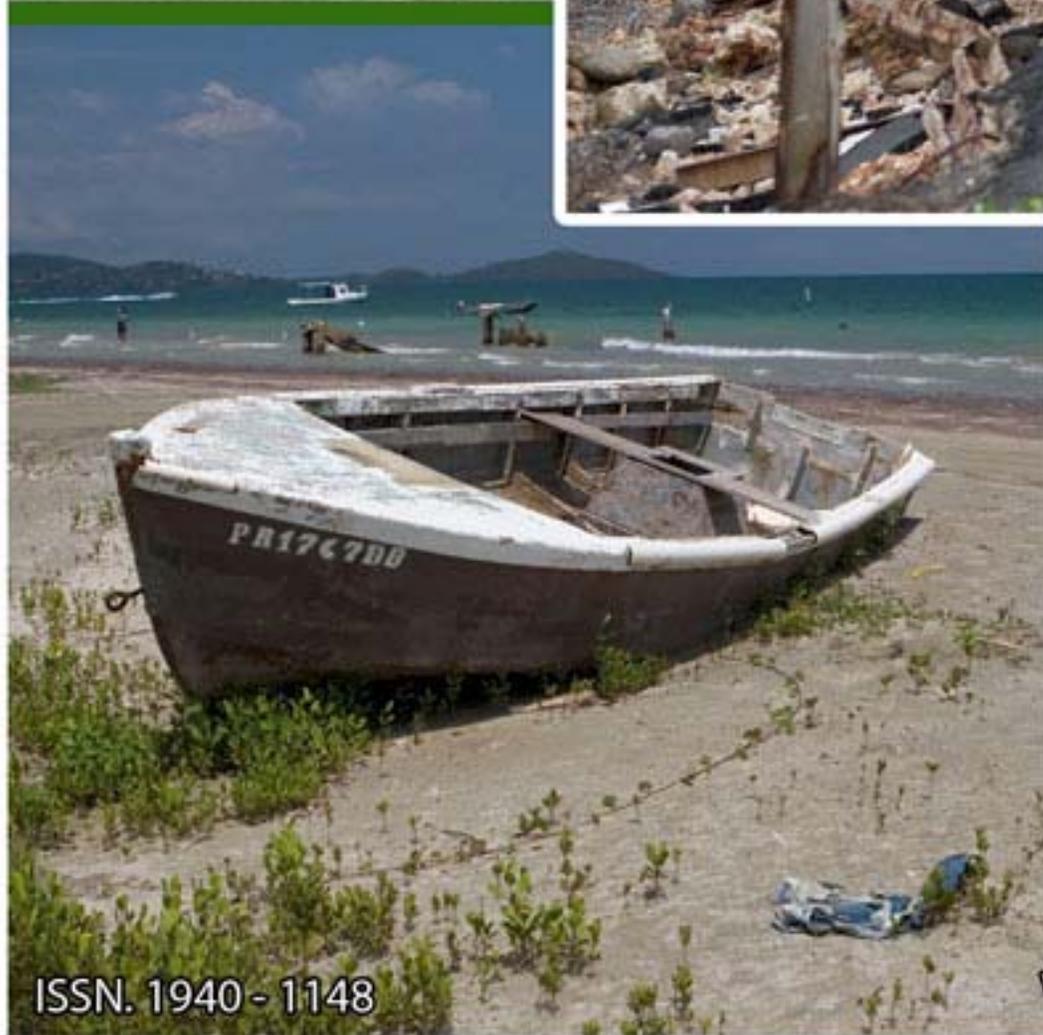
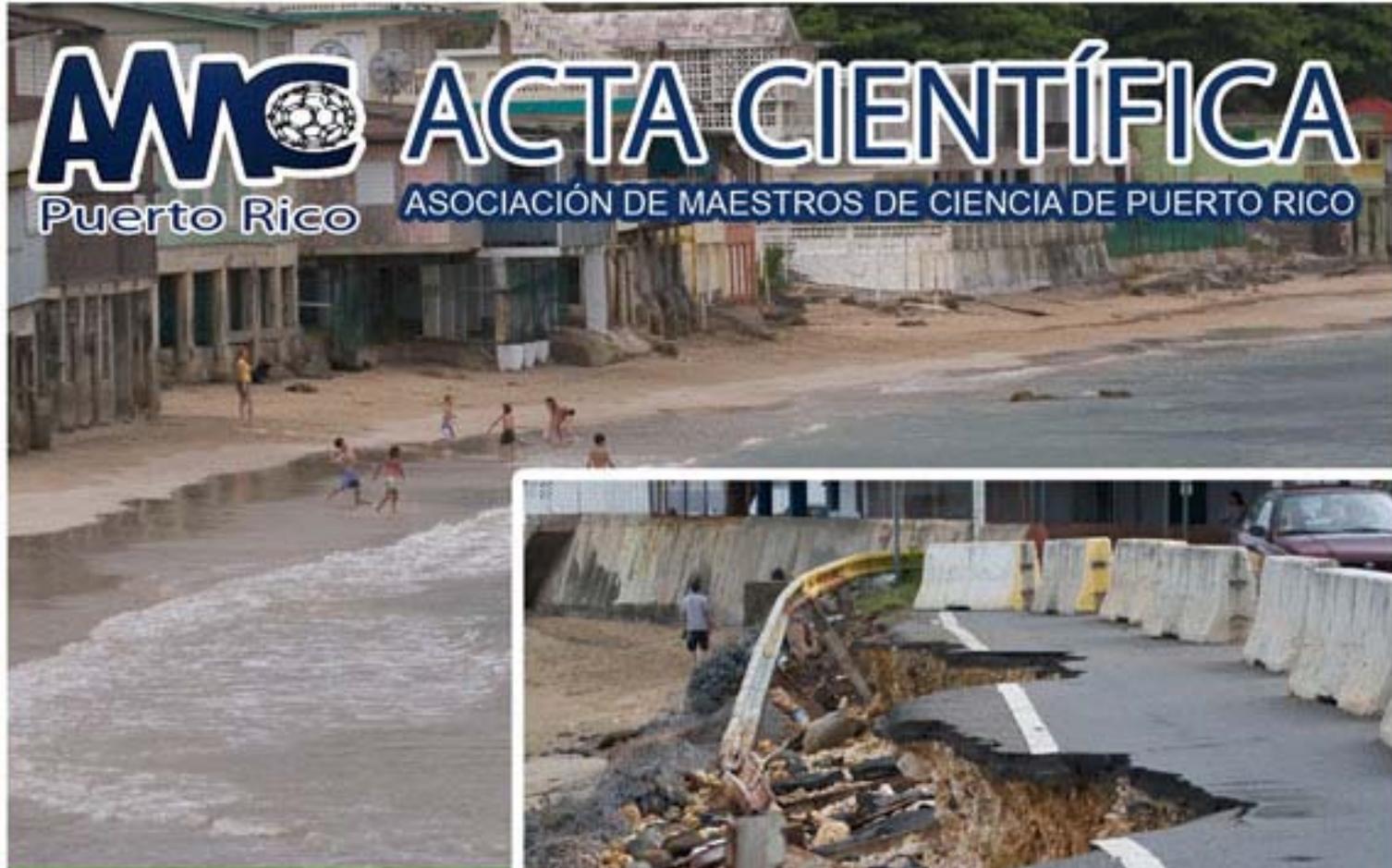


AMC
Puerto Rico

ACTA CIENTÍFICA

ASOCIACIÓN DE MAESTROS DE CIENCIA DE PUERTO RICO



ISSN. 1940 - 1148

VOL. 18 NÚM 1-3, 2004

Acta Científica

ASOCIACIÓN DE MAESTROS DE CIENCIA DE PUERTO RICO

Editor

Ariel E. Lugo

Editor de producción

Evelyn Pagán

Editor técnico

Migdalia Álvarez

Oficial administrativo

Mildred Alayón

ACTA CIENTÍFICA es la revista multidisciplinaria de la Asociación de Maestros de Ciencia de Puerto Rico. **ACTA** considera para su publicación, trabajos originales en cualquier área de la ciencia, a saber, física, química, bioquímica, zoología, botánica, ecología, biomédica, medicina, ciencias terrestres, ciencias atmosféricas, psicología del comportamiento, tecnología farmacéutica o matemáticas. Un *artículo* describe un estudio completo y definitivo. Una *nota* es un proyecto completo, pero más corto, que se refiere a hallazgos originales o importantes modificaciones de técnicas ya descritas. Un *ensayo* trata aspectos relacionados con la ciencia, pero no está basado en resultados experimentales originales. Una *revisión* es un artículo que comenta la literatura más reciente sobre un tema especializado.

Los manuscritos deben ser enviados en triplicado al Editor, quien los someterá a revisión crítica de revisores en el área de ciencia concernida. La aceptación de trabajos debe ser escritos en español e inglés. El requisito de manuscritos enviados para publicación que el mismo no es ni ha sido presentado a otra revista científica. Contribuciones a la revista deberán ser dirigidas al Editor.

Ariel E. Lugo
Editor Acta Científica
Instituto Internacional de Dasonomía Tropical
Servicio Forestal
Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
PO Box 25000
Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000

Para asegurar la consideración de su manuscrito, se aconseja prepararlo de acuerdo a las siguientes INSTRUCCIONES PARA AUTORES:

PORTADA

Las fotografías de la portada ilustran varios aspectos de la Zona Marítimo-Terrestre y fueron tomadas por Jerry Bauer del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.

- Los trabajos deben ir acompañados de un resumen en español y un *abstract* en inglés, escrito a doble espacio y en hojas separadas, encabezadas por el título completo del trabajo traducido al español y al inglés en cada caso. El título debe ser informativo y corto, generalmente no más de 12 palabras. El autor debe indicar un título más breve (no más de 40 letras), en el mismo idioma del trabajo, para ser utilizado como encabezamiento de cada página (*running head*).
- Las figuras y fotografías deben identificarse en el reverso a lápiz con el número que le corresponde, el nombre del primer autor y título del trabajo. Debe presentarse una lista de figuras junto con las leyendas de cada una, mecanografiadas a doble espacio en hojas separadas del artículo.
- Las tablas deben: mecanografiarse a doble espacio, presentarse cada tabla en hojas separadas, enumerarse consecutivamente, tener un título breve, y ser precisas. No deben repetir material en tablas y en figuras.
- Los autores deben usar el sistema métrico para sus medidas. Consúltese el Sistema Internacional de Unidades (SI) como guía en la conversión de sus medidas. Al redactar texto y preparar figuras, nótese que el sistema internacional de unidades requiere: (1) el uso de términos masa o fuerza en vez de peso; (2) cuando una unidad es expresada en denominador, se debe utilizar el sólido (g.g., g/m²); para dos o más unidades en un denominador, use el sólido y un decimal (e.g., g/m² .d); y, (3) use la "L" como el símbolo de litro.
- Compagine las partes de su manuscritos en este orden: página de título, abstracto, texto, agradecimiento, literatura citada, anejos, tablas, leyendas de figuras, y figuras: Enumere todas las páginas.

En general recomendamos a los autores acompañar el texto del trabajo con una lista de todos los anejos, figuras, fotografías, tablas, etc.

ACTA proveerá 25 separatas de cada artículo libre de costo. El autor principal recibirá las separatas y podrá ordenar copias adicionales al momento de devolver las pruebas de galeras.

El editor es responsable de los comentarios y editoriales que aparezcan sin firma. Las opiniones expresadas no son necesariamente aquellas de la Asociación de Maestros de Ciencia de Puerto Rico, ni obligan a sus miembros. Los lectores están cordialmente invitados a expresar sus opiniones en la sección Cartas al Editor. Esta revista no tiene propósitos comerciales y no produce beneficio económico alguno a sus editores.

**ASOCIACIÓN DE MAESTROS DE CIENCIA DE PUERTO RICO
JUNTA DE DIRECTORES 2006-2007**

Presidenta	Prof. Jacqueline López Vargas
Presidente electo	Prof. José Rodríguez Orengo
Presidenta saliente	Prof. Lysette M. Colón Pérez
Secretaria	Prof. Gesselle García
Secretaria ejecutiva	Prof. Lucy C. De Gaspar
Tesorero	Prof. Jorge L. Acosta
Sub-tesorera	Prof. Carmen Varela

REPRESENTANTES DE CAPÍTULOS REGIONALES

Arecibo	Prof. Mayra Colón García/Prof. Nilda D. Serrano
Bayamón	Prof. Carmen G. Martínez/Prof. Abigail Resto
Caguas	Prof. Carmen M. Reyes
Fajardo	Vacante
Humacao	Prof. Janette Pérez
Mayagüez	Prof. Rosa Batista
Ponce	Prof. Norberto Aponte/Prof. Erika Cartagena
San Germán	Prof. Carmen V. Marty
San Juan	Prof. Pedro Camacho

MIEMBRO EX-OFICIO

Prof. Luis Jiménez

COLABORADORA

Prof. Nilda Doris Ramos

COMITÉ ASESOR

Dr. Ariel Lugo
Dra. Josefina Árce
Dr. Héctor Joel Álvarez
Dra. María Aguirre
Prof. Acenet Bernacet

Para comunicarse con la Asociación de Maestros de Ciencia o subscribirse a Acta Científica comuníquese con:

Prof. Jacqueline López
Asociación de Maestros de Ciencia
Apartado 22044, Estación UPR
San Juan, Puerto Rico 00931

www.amcpuertorico.org

EDITORIAL

Este número de **Acta Científica** está dedicado a la Zona Marítimo-Terrestre y como hicimos con el Agua (*Acta Científica* volumen 10, 1996), presentamos el tópico en forma de Cartilla. La Zona Marítimo-Terrestre se ha convertido en un asunto de vital importancia para Puerto Rico ya que alberga sistemas ecológicos de gran importancia, como por ejemplo las playas, los manglares, los estuarios y las dunas de arena. Además, la Zona Marítimo-Terrestre atrae mucha actividad económica y presencia humana. La mayoría de los puertorriqueños nos recreamos en estos ecosistemas, vivimos cerca de ellos o nos beneficiamos de su protección contra el cambio climático y los embates del mar y vientos huracanados. Dado el movimiento poblacional masivo hacia las costas del país, la Zona Marítimo-Terrestre se ha convertido en eje de controversia y confusión sobre su uso y manejo. Algunas de las preguntas que se escuchan son: ¿Qué es la Zona Marítimo-Terrestre? ¿De qué consiste la Zona Marítimo-Terrestre? ¿Cómo se delimita la Zona Marítimo-Terrestre? ¿A quién pertenece la Zona Marítimo-Terrestre? Para contestar estas y otras preguntas reunimos un grupo de colegas expertos en la materia y luego de más de un año de trabajo, obtuvimos el resultado que aquí publicamos. Obviamente, el asunto de la Zona Marítimo-Terrestre es muy complicado y requiere conocimiento de muchas materias para lograr un entendimiento global del asunto.

Esta Cartilla se publica como una contribución a la discusión pública sobre este bien no patrimonial bajo el aseo de la privatización. La Cartilla ayuda al maestro de ciencias a demostrarle a sus estudiantes la necesidad de integrar el conocimiento para entender problemas complejos. La Cartilla también es útil como documento de referencia para los que se dedican a la conservación de recursos naturales costaneros y para cualquier ciudadano con curiosidad sobre los múltiples asuntos que atañen a la Zona Marítimo-Terrestre. Esperamos también que esta Cartilla contribuya a que la Legislatura de Puerto Rico apruebe una nueva Ley de Costas que no solo proteja el ambiente natural y el patrimonio público de Puerto Rico, sino que también contribuya a la seguridad de la vida y propiedad en la Zona Marítimo-Terrestre.

La impresión de este volumen de **Acta Científica** se llevó a cabo por cortesía del Programa *Sea Grant* del Recinto Universitario de Mayaguez, Universidad de Puerto Rico. Agradecemos la gentileza del Director de *Sea Grant*, Ruperto Chaparro y la colaboración de su grupo de trabajo.

Ariel E. Lugo
Editor

TABLA DE CONTENIDO

EDITORIAL	1
INTRODUCCIÓN	7
1 LA COSTA DE PUERTO RICO	9
2 BIENES DE DOMINIO PÚBLICO	19
3 BIENES DE DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE	23
• LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE	23
• LOS TERRENOS SUMERGIDOS	25
• LAS AGUAS TERRITORIALES	25
4 CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA COSTA PUERTORRIQUEÑA	27
5 ASPECTOS FÍSICOS DE LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE	33
• PLAYAS	33
• OLAS	42
• DUNAS DE ARENA	53
• COSTAS ROCOSAS	55
• HUMEDALES MAREALES	56
• MAREAS	59
o Ciclo Mareal	63
o Ciclo Sidónico	63
o Ciclo Metónico	66
o Nivel del Mar	66
6 ASPECTOS ECOLÓGICOS	79
• ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE	79
o Humedales Mareales y Estuarinos	79
• LAGUNAS COSTERAS	79
• SALITRALES	81
• LODAZALES	82
• MANGLARES	82
o Otros Humedales	84
o Bosques y Matorrales	84
o Dunas de Arena	85
o Playas	87
o Sistemas Intermareales Rocosos	89
o Bahías	90

• TERRENOS SUMERGIDOS Y AGUAS TERRITORIALES	91
o Hierbas Marinas	91
o Arrecifes de Coral	92
7 ADMINISTRACIÓN DE LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE	95
• DELIMITACIÓN	95
• REGLAMENTACIÓN	100
• MANEJO	120
8 EFECTOS ANTROPOGÉNICOS EN LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE	125
9 BENEFICIOS Y USOS DE LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE	135
10 DISCUSIÓN	137
• PROYECCIONES FUTURAS	137
• OPINIÓN	141
AGRADECIMIENTOS	146
BIBLIOGRAFIA	146

CARTILLA DE LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE

Ariel E. Lugo¹, Antares Ramos Álvarez¹, Aurelio Mercado², Dinorah La Luz Feliciano³, Gilberto Cintrón⁴, Lirio Márquez D'Acunti⁵, Ruperto Chaparro⁶, Jorge Fernández Porto⁵, Sarah J. Peisch⁷ y José Rivera Santana⁸

¹Instituto Internacional de Dasonomía Tropical
Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América
1201 Calle Ceiba, Jardín Botánico Sur,
Río Piedras, PR 00926-1115

²Departamento de Ciencias Marinas y Centro de Peligros Costeros del Programa Sea Grant de la
Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez
PO Box 9013, Edificio de Física, Geología y Ciencias Marinas F-420,
Mayagüez, PR 00681-9013

³26 Carretera 833, La Villa Garden 1035-AD,
Guaynabo, PR 00971-9015

⁴División de Conservación Internacional
Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos de América
4401 N. Fairfax Dr., Suite 740
Arlington, VA 22203-1622

⁵Senado de Puerto Rico
Oficina de la Senadora María de Lourdes Santiago Negrón
Apartado 9023431
San Juan, PR 00902-3431

⁶Programa Sea Grant de la Universidad de Puerto Rico
Recinto de Mayagüez,
Mayagüez, PR 00681-9013

⁷Centro de Acción Ambiental
1357 Avenida Ashford número 187
San Juan, PR 00907-1403

⁸Calle Tulane C-18
Urbanización Santa Ana
San Juan, PR 00927

INTRODUCCIÓN

Esta Cartilla de la **Zona Marítimo-Terrestre** tiene el propósito de explicar los términos y conceptos que ayudan a entender lo que es y significa bienes de dominio público marítimo-terrestre y en especial la Zona Marítimo-Terrestre de Puerto Rico. La idea es proveer un documento de referencia para facilitar la discusión sobre un asunto técnico y complejo, pero de trascendental importancia para Puerto Rico por su naturaleza insular y la fuerte influencia de los procesos costeros en nuestra ecología, sociedad y economía. La Cartilla busca ayudar al lector a entender el lenguaje que se utiliza cuando se discuten asuntos relacionados a la zona marítimo-terrestre.

La Cartilla está organizada utilizando un formato de preguntas y respuestas. Tratamos de ser objetivos y concisos eliminando en lo posible aseveraciones subjetivas. En algunas instancias, un término tiene diversas acepciones en distintos ámbitos, como por ejemplo, en el campo jurídico y el ecológico. En esos casos presentamos las definiciones tal como han sido adoptadas en cada disciplina.

Aquellos términos **ennegrecidos** que se utilizan como parte de una contestación son términos que aparecen definidos posteriormente y se mencionan por primera vez. El término definido aparece subrayado. Para muchos términos técnicos presentamos la traducción al inglés en paréntesis y en *cursivas*.

El documento enfoca principalmente la zona marítimo-terrestre, aunque varias secciones incluyen información sobre los terrenos sumergidos y las aguas territoriales, los cuales, conjuntamente con la zona marítimo-terrestre constituyen los bienes de dominio público marítimo-terrestre. Entendemos que es pertinente incluir esta información ya que los sistemas ecológicos que componen estas zonas dependen los unos de los otros.

Esperamos con este documento concienciar y educar objetivamente sobre la necesidad de acción para la protección de la Zona Marítimo-Terrestre de Puerto Rico así como el resto de los bienes de dominio público marítimo terrestre por el bien de las generaciones puertorriqueñas presentes y futuras.

LA COSTA DE PUERTO RICO

¿Qué es la costa?

Definición técnica:

La costa es la parte de un continente o isla que linda con el mar. Es el límite entre la tierra y el mar que continuamente está siendo transformado por la acción de las **corrientes marinas**, las **mareas**, el **oleaje**, el viento, la **erosión** y las fluctuaciones del **nivel del mar** (DRNA 2005). La costa no es meramente una zona de contacto entre dos dominios (terrestre y marino), sino que es un macroecosistema (un conjunto de ecosistemas) en sí mismo que lleva a cabo importantes funciones de disipación y transformación de energía y que genera diversos bienes y servicios de extrema utilidad a la sociedad y que es una unidad funcional del paisaje. Las costas son el mejor elemento disipador de la energía transferida por el viento al océano a lo largo de miles de kilómetros. Este proceso de defensa ocurre de forma efectiva sin intervención humana ni costo a la sociedad. Las costas son además, regiones de alta productividad biológica. La mayor parte de la producción de los océanos ocurre en las **plataformas continentales, insulares** y las **costas**. El proceso de disipación de energía se torna en el principal agente modelador del litoral formando playas, dunas de arena y otras estructuras que a su vez generan servicios ecológicos. Pero las alteraciones antropogénicas, es decir, las causadas por el ser humano, han alterado enormemente los procesos litorales a niveles locales y globales. Un alto por ciento de las costas del mundo se encuentra en franca erosión debido a procesos naturales o a los cambios directos o indirectos inducidos por la actividad humana.

Definición legal:

La costa es “la línea de orilla o borde de un país que da al mar o al océano, la cual está constituida por la **línea de bajamar** que es la marea baja promedio” (Junta de Planificación 1983).

¿Qué es la plataforma continental o la insular?

La plataforma continental o insular (en el caso de Puerto Rico) es la superficie del fondo submarino entre el litoral y las profundidades no mayores de 200 metros. En su límite hay una acentuación brusca de la pendiente, que es el talud oceánico.

¿Qué son las corrientes marinas?

Las corrientes marinas son masas de agua en movimiento que se encuentran a todas las profundidades y que, a gran escala, son empujadas por el viento (principalmente las corrientes superficiales) y por cambios en la densidad del agua. La rotación del planeta influye en la dirección que toman las corrientes marinas. A pequeña escala las corrientes marinas pueden ser producidas también por las olas rompiendo en las **playas**. Una corriente marina es análoga a un chorro o río de agua desplazándose por los mares y océanos. Cerca de la costa hay corrientes marinas que mueven arena y agua a lo largo de la costa.

¿Qué es oleaje?

El oleaje es el término que se utiliza para describir el patrón e intensidad de las olas que inciden sobre una costa.

¿Qué es erosión?

Erosión es el proceso de disgregación y acarreo de materiales por un agente erosivo. Algunos usan el término **abrasión** como sinónimo de erosión pero abrasión es tan solo la acción mecánica de la erosión. El mar actúa como agente erosivo de cuatro formas: 1) Por acción hidráulica (cuando actúa como un pistón o martillo que da golpes y rompe); 2) Por cincelado (cuando el material de los acantilados es gradualmente recortado y fragmentado); 3) Por

fricción (abrasión o desgaste debido a golpes y rozamiento); y 4) Por corrosión o acción química o disolución. Erosión incluye el acarreo de materiales y no solo el desgaste.

En las costas, el principal agente erosivo es el choque destructor de las olas contra los obstáculos. Las fisuras y grietas se agrandan rápidamente ante tal embate. La socavación erosiva crea vicerias o plataformas de erosión en las areniscas calcáreas de la costa norte. La rompiente pone el material particulado fino en suspensión, lo coloca en movimiento y es responsable por la deriva litoral. El viento también es un agente erosivo que tiene una acción importante sobre la parte alta y seca de las playas arrastrando arena tierra adentro desde las dunas de arena. Este proceso se llama **deflación**.

¿Qué es abrasión?

Abrasión es el proceso de desgaste de la tierra como consecuencia de fuerzas externas como el oleaje o las corrientes marinas que actúan sobre la costa.

¿Qué es deflación?

Deflación es la erosión eólica, es decir, por acción del viento. El transporte de materiales por el viento es un agente modelador de la costa siendo el principal mecanismo que suministra arena a los médanos litorales. Las dunas de arena son acumulaciones de arena producidas por la acción del viento y el transporte de sedimentos. Donde hay grandes aportaciones de arena y viento del mar hacia tierra las dunas de arena forman cordones, a veces paralelos entre sí y perpendiculares a la dirección del viento. El viento transporta las partículas de sedimento igual que el agua, por **saltación** y por arrastre o rodamiento. Una gran cantidad de sedimento se transporta por el lado expuesto de la duna de arena hacia la cresta y sobre ella. Las dunas de arena están sujetas a deflación si no hay vegetación que las sujete y estabilice. La remoción de la vegetación acelera la erosión y destrucción de la duna de arena y degrada su función protectora.

¿Qué es el mar?

El mar es una porción semicerrada o subdivisión de un océano. La costa sur de Puerto Rico colinda con el mar Caribe. La cuenca del Caribe se define por un gran arco de islas que incluye las Antillas Mayores al norte y las Antillas Menores hacia el este y está delimitada en el sur por Sudamérica y Panamá y hacia el oeste por América Central. El Caribe tiene aproximadamente 2,415 km de este a oeste, y entre 640 y 1,450 km de norte a sur. Cubre una extensión de 1,940,000 km². Con pocas excepciones, toda la cuenca del Caribe tiene más de 1,830 m de profundidad y muchos lugares superan los 3,660 m. La parte más profunda está localizada en la fosa de las Islas de Caimán (7,535 m).

¿Qué es el océano?

El océano es la masa intercomunicante de agua salada (el agua del océano contiene 3.5 por ciento de sales minerales, es decir, 35 partes por mil) que ocupa 71 por ciento de la superficie del planeta. Puerto Rico colinda hacia el norte con el océano Atlántico. Los océanos cubren 70.9 por ciento de la superficie terrestre, lo que corresponde a unos 361 millones de kilómetros cuadrados. Si esta cifra se multiplica por la profundidad promedio (3,795 metros) el volumen de agua resulta ser 1.37 billones de kilómetros cúbicos. El agua del océano representa el 95.96 por ciento del agua en el planeta. Un río como el Amazonas tardaría unos 22 millones de años en transportar ese volumen de agua. Por eso los océanos constituyen el componente más importante del ciclo hidrológico. Más del 86 por ciento de la humedad atmosférica emana de la evaporación del agua del océano. Debido a su gran volumen el tiempo de residencia, (definido como el volumen total dividido por los aportes fluviales) es 39,000 años. Es decir, es probable que el agua de las cuencas oceánicas más profundas dejó de estar en contacto con la atmósfera hace centenares de años. En cambio, el tiempo de residencia del agua en la atmósfera es de tan solo 11 días. Una de las características más

notables del océano es que es continuo, lo que no ocurre con los continentes. El promedio de intercambio del agua para todos los océanos es de 60 años (50 años para el Atlántico). Esta tasa de mezcla es un factor importante en la difusión y regulación de la concentración de sustancias disueltas en el agua, como el CO_2 . La inmensidad del océano ha contribuido al mito de que tiene una capacidad de dilución infinita y que puede considerarse un ¡gigantesco vertedero!

¿Qué es la zona costanera?

La zona costanera (Fig. 1.1) es la “franja de terreno costanero y las aguas adyacentes a Puerto Rico y de las islas dentro de su jurisdicción, que se extiende mil (1,000) metros lineales (1 kilómetro) tierra adentro desde la **línea de costa** y además, distancias adicionales, hasta donde sea necesario para asegurar que se incluyan los sistemas naturales claves de la costa, así como las aguas y el suelo oceánico o marítimo que se extiende tres (3) **leguas marinas** (10.35 millas terrestres/16.66

kilómetros) aguas adentro” (Junta de Planificación 1983). En términos de hidrodinámica, la zona costanera describe el área del litoral, incluso las dunas de arena costeras y la topografía del fondo hasta la profundidad en que las olas pueden mover los sedimentos del fondo. Las playas son partes de la zona costanera.

¿Qué es la línea de costa?

La línea de costa es lo que en los mapas separa el mar de la tierra. En las cartas náuticas, es lo mismo que la línea de bajamar (Fig. 1.1). En los mapas topográficos, la **pleamar media** (*mean high water*) es la altura que define la línea de costa. La línea de costa en áreas de manglar aparece en las cartas y mapas como el borde externo de la vegetación, aunque en realidad debiera señalarse más correctamente como el límite interior (tierra adentro al manglar) pues la vegetación ocupa la parte intermareal. En la práctica la escasa amplitud de la marea y la escala de los mapas no permite distinguir entre la línea de bajamar y de **pleamar** media a lo largo de las

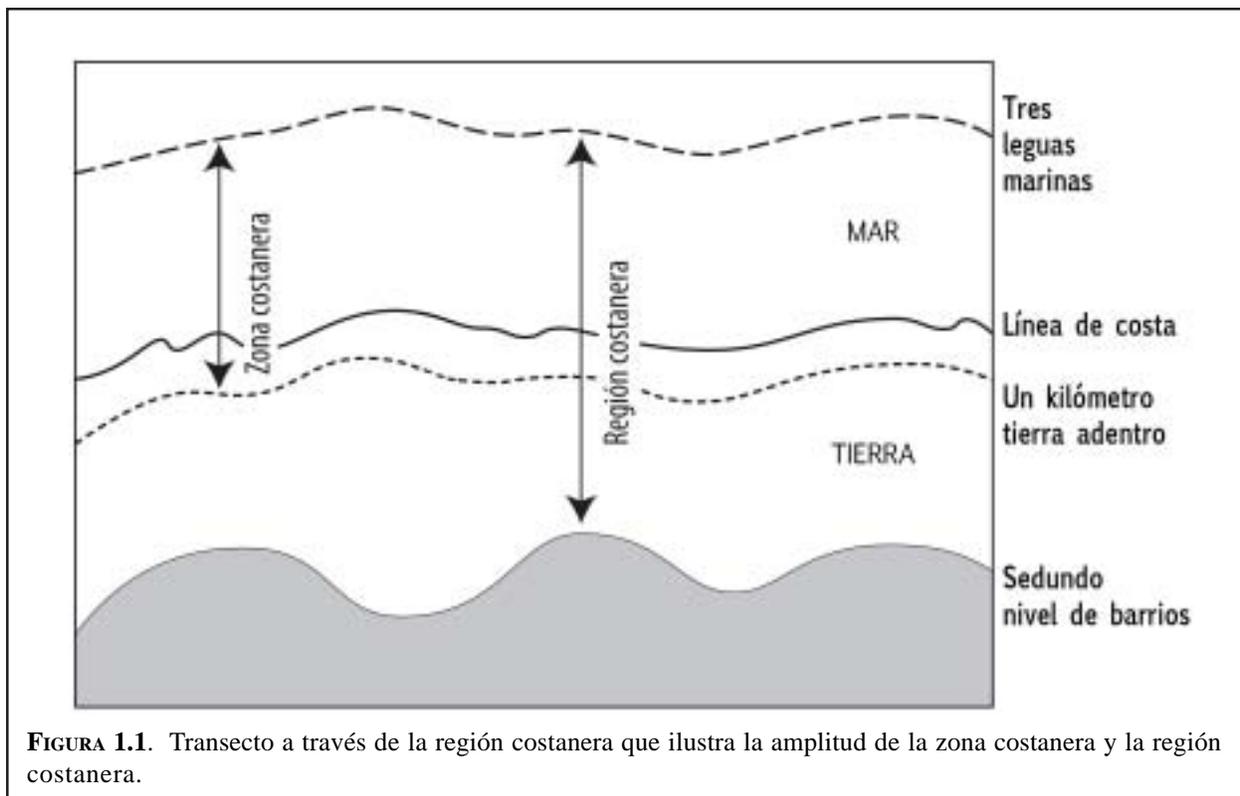


FIGURA 1.1. Transecto a través de la región costanera que ilustra la amplitud de la zona costanera y la región costanera.

playas, pero en el caso de los humedales intermareales los mapas hacen una representación errónea de la localización de la zona marítimo-terrestre. Se sabe que a escalas geológicas el nivel del mar ha fluctuado por cientos de metros, pero en los últimos miles de años se había estabilizado, utilizándose como nivel de referencia para la elaboración de mapas y cartas náuticas. Sin embargo, cambios climáticos recientes han inducido un aumento y los últimos estudios muestran que ese aumento se ha ido acelerando y se espera que en este siglo aumente, como mínimo, entre 28 y 88 centímetros.

¿Qué es una legua marina?

Una legua marina es una medida que equivale a 5.55 kilómetros lineales (5,555.55 metros) ó 3 millas náuticas (3.45 millas terrestres).

¿Cuántas millas (kilómetros) de costa hay en Puerto Rico?

En Puerto Rico se estima que hay 700 millas de costa (1,126 kilómetros) (NOAA 2006).

¿Cuántas personas viven en la zona costanera?

En la zona costanera de Puerto Rico viven 3,008,274 personas (NOAA 2006). La figura 1.2 ilustra la distribución geográfica y la densidad de esa población usando límites de barrios costeros.

¿Hay muchas construcciones en la costa?

Sí, hay muchas construcciones en la costa, pero la densidad de las mismas varía a lo largo de la costa. La figura 1.3 ilustra las áreas con construcciones en la costa.

¿Qué tipos de costa hay en Puerto Rico?

Los tipos de costa que encontramos en Puerto Rico son **playas arenosas** de **baja** y **alta energía**, **dunas de arena** en costas de alta energía, **costas rocosas** tanto de baja como de alta energía y **humedales mareales** en costas de baja energía.

¿Qué es una costa de baja energía?

Una costa de baja energía es aquella que recibe poca energía de olas y de corrientes marinas lo que permite la acumulación de sedimentos de grano fino (McGraw-Hill 2003).

¿Qué es una costa de alta energía?

Una costa de alta energía es aquella que recibe mucha energía de olas y corrientes marinas lo que evita la acumulación de sedimentos de grano fino (McGraw-Hill 2003).

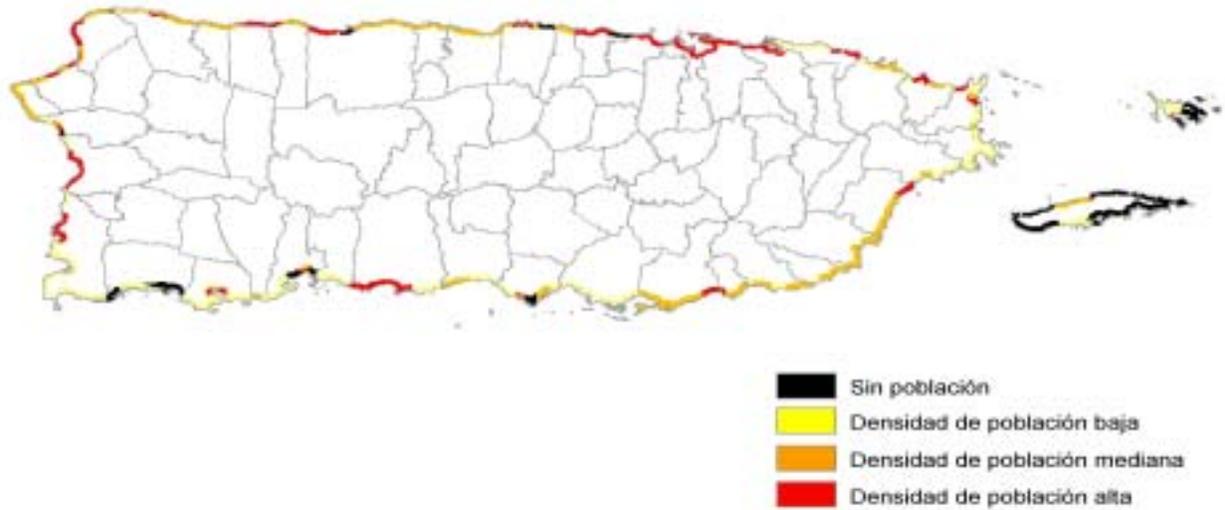
¿Dónde se encuentra cada tipo de costa en Puerto Rico?

Se puede generalizar si decimos que la costa norte, la cual está expuesta directamente al Atlántico, es una de alta energía y se caracteriza por ser predominantemente arenosa y bordeada por una hilera angosta de dunas de arena con segmentos rocosos de **eolianita**, que son dunas o médanos fósiles, es decir, dunas de arena cementadas debido a los elementos calcáreos en la arena y la lixiviación que resulta en la eventual cementación del depósito original (Fig. 1.4). La costa sur, este y oeste están menos expuestas y pueden considerarse de baja energía. Un tramo de costa de alta energía definida por acantilados predomina en el noroeste; y un segmento de costa de baja energía con **guijarros** se encuentra en el sur (DRNA 2005).

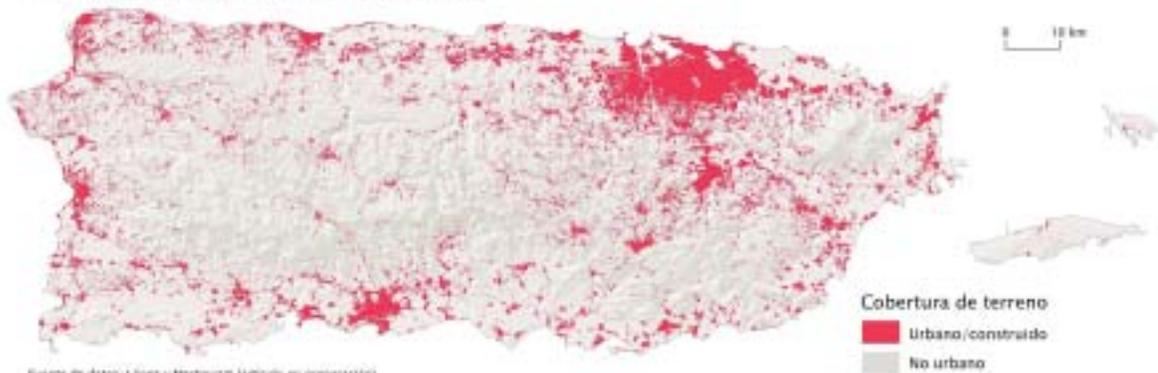
¿Qué es la eolianita?

La eolianita es una roca sedimentaria consolidada posterior a su deposición. En otras palabras, es una roca compuesta de fragmentos de arena (arena suelta) previamente movidos por el viento y el agua y que se han cementado y vuelto a consolidar. Ejemplos de ello son las costas rocosas en Vacía Talega y Piñones, Puerto Nuevo en Vega Baja y la Cueva del Indio en Barceloneta. Estos ejemplos son de dunas de arena consolidadas. A veces se consolida la playa y se forman lajas o lápidas planas (tubuladuras) en la costa. Esta roca de playa (*beachrock*) es frecuentemente vestigio de antiguas playas

FIGURA 1.2. Densidad de la población costera de Puerto Rico tomando como base los barrios dentro de los municipios costaneros. Los distintos patrones de las líneas representan distintas densidades de población (Cortesía de Sebastián Martinuzzi).



Terrenos urbanos y áreas construidas: 2001



Fuente de datos: López y Martinuzzi (artículo en preparación).
 Nota: Para generar la información de cobertura de terreno urbana se utilizaron imágenes de satélite de los años 2000, 2001, y 2003. Para propósitos de este trabajo se designa como año de cobertura al 2001.

FIGURA 1.3. Áreas construídas en la costa de Puerto Rico (López Marrero y Villanueva Colón 2006).

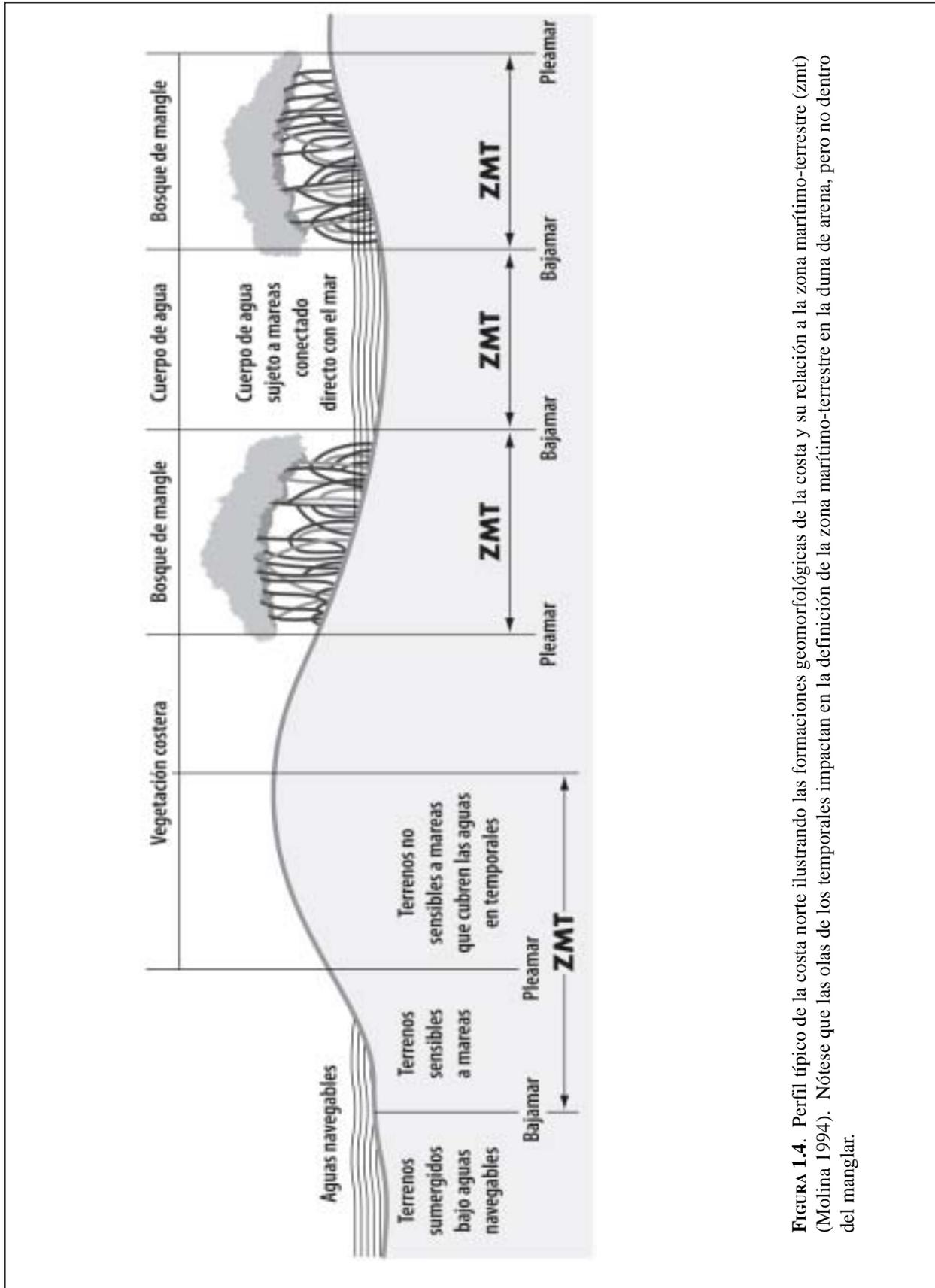


FIGURA 1.4. Perfil típico de la costa norte ilustrando las formaciones geomorfológicas de la costa y su relación a la zona marítimo-terrestre (zmt) (Molina 1994). Nótese que las olas de los temporales impactan en la definición de la zona marítimo-terrestre en la duna de arena, pero no dentro del manglar.

(playas fósiles) que ha quedado sumergida por cambios relativamente recientes en el nivel del mar (eustatismo).

¿Qué son guijarros?

Guijarros (*pebbles*) se refiere al material no consolidado en las playas con un tamaño de 4 a 64 mm (0.16 a 2.52 pulgadas).

¿Cómo afecta el mar a las costas?

El mar define y le da forma a la costa por medio del transporte de sedimentos. El impacto del oleaje, la erosión marina y la sedimentación dan lugar a la formación de una gran variedad de formas litorales. La acción incesante de las olas provoca la erosión de las estructuras rocosas y pone en movimiento los sedimentos finos tales como la arena a lo largo de la costa, formando bancos, playas y dunas de arena. Como resultado de los cambios en las condiciones del mar, las playas experimentan ciclos sucesivos de adelgazamiento y de crecimiento. Durante el invierno el oleaje es más fuerte y la arena a veces casi desaparece. Durante el verano, cuando las condiciones son favorables se transporta arena de las partes más profundas hacia el **estrán** (la zona intermareal) y la alta playa y la playa crecen. Este crecimiento puede continuar por mucho tiempo hasta que alguna tormenta arranque nuevamente la arena de la playa.

¿Qué es el estrán?

El **estrán** (*swash zone*) es la playa propiamente dicha, es decir, la zona de continua subida y bajada de agua por el oleaje, cubierta por arena, que descubre la marea baja. Se extiende desde la línea de las mareas más altas (pleamar) hasta el comienzo de playa submarina (bajamar).

¿Qué es erosión costera?

La **erosión costera** es la pérdida de arena que ocurre en muchos lugares de nuestras costas con el consecuente desplazamiento de la orilla tierra adentro. El término técnico es regresión de la costa (*shoreline retreat*) (Bush *et al.* 1995).

¿Qué es erosión debido a inundaciones?

Erosión debido a inundaciones es el “derrumbamiento del terreno en las orillas de un cuerpo de agua como resultado del escarbamiento causado por olas o corrientes de agua que exceden los eventos cíclicos anticipados o por crecidas anormales de las aguas o de la marea que causan inundaciones” (Junta de Planificación 2005). La erosión debido a las inundaciones es una característica del movimiento de un río dentro de su llanura de inundación. A esto se debe el ensanchamiento del canal y la migración del cauce durante las **inundaciones**, cuando las aguas de inundación se mueven a gran velocidad. La fuerza del agua de inundación puede cortar canales secundarios a lo largo y ancho de la llanura de inundación. La destrucción de la vegetación (deforestación), el sobrepastoreo y la reducción en la permeabilidad debido a la pavimentación aumentan la descarga de agua, pues se reduce la superficie disponible para absorber la lluvia y se canalizan los flujos más rápidamente hacia las vías de drenaje, aumentando el riesgo y la severidad de las inundaciones en la costa.

En la costa, la erosión por inundación se provoca cuando ocurren **marejadas ciclónicas** (*storm surge*). Esta “marea” es en realidad un domo de agua que se forma por la acumulación de agua del mar contra la costa debido a la fuerza del viento, la reducción en la presión barométrica (efecto de barómetro invertido) y la acumulación de agua contra la costa debido al rompimiento de las olas cerca de esta. Estas mareas de tormenta pueden aumentar el nivel de la superficie del mar varios metros, causando inundaciones de las partes bajas y exponiendo a la erosión las partes más altas de la playa. Además las olas corren sobre ese nivel elevado. Los efectos pueden ser devastadores particularmente cuando coinciden con mareas altas. La altura de la **marejada** ciclónica es función de la intensidad de la tormenta, ángulo y velocidad de aproximación y la pendiente del fondo marino frente a la costa.

¿Qué es erosión crónica?

La erosión crónica es erosión constante y por un periodo considerable. La erosión crónica puede ocurrir en la red de drenaje fluvial o en la costa. En la red fluvial la erosión crónica puede ser desencadenada por cambios climáticos o modificaciones al paisaje por alteraciones a la cobertura vegetal. En la costa la erosión crónica puede ser provocada por pérdida de estructuras que ofrecen protección o que estabilizan el sustrato, o por la pérdida de suministros de materiales a los depósitos (fondos, playas y dunas). La combinación de diversos factores puede tener efectos multiplicadores que provoca regresiones generalizadas en amplios sectores de costa. La erosión crónica puede ser provocada por la elevación del nivel del mar que ha ido en lento aumento en respuesta al derretimiento de glaciares y de las capas polares por el aumento en la temperatura (y la expansión del agua) de los océanos debido al cambio hacia un clima más cálido en las últimas décadas.

¿Qué factores causan erosión en la costa?

En Puerto Rico el factor de mayor influencia sobre la erosión costera es la interrupción en el flujo de arena causada por los humanos (Bush *et al.* 1995). La extracción de arena de la desembocadura de los estuarios y el lecho de los ríos es dañina debido a que la costa se nutre de estas arenas. El mar no produce grandes cantidades de arena, por eso se dice que “el mar es un consumidor y no un productor de arena”. Las extracciones de arena crean déficits sedimentarios y provocan regresión de la costa. Esto señala la importancia de proteger los reservorios de arena en la costa (fondos, playas y dunas) y los procesos que suministran la arena al mar (flujos normales de agua que transportan sedimentos por el lecho del río). Las arenas se generan de la degradación de rocas magmáticas, cristalinas o metamórficas de estructura granosa en la montaña alta. La mayor parte de la arena en las playas proviene del arrastre y depósito de las arenas traídas a la costa por los ríos desde las cordilleras. El mar puede remover y redepositar arenas destruyendo playas y dunas, es decir, el mar actúa como agente de remoción

y redeposición pero no como un suplidor de arena tan importante como los ríos.

Algunos de los factores que causan erosión en la costa son (los factores naturales se identifican con [n], el resto son factores antropogénicos):

- La extracción de arena en playas, dunas de arena, estuarios y ríos. Estas extracciones reducen los aportes de arena y eliminan las reservas naturales.
- Cualquier estructura, como rompeolas, revestimientos y diques o espigones en el **litoral** que obstaculice la deriva litoral o atrape arena en un lugar hace que la playa se erosione corriente abajo.
- La subida normal en el nivel del mar, ya sea por elevación del nivel del mar o por el hundimiento de la corteza terrestre (subsistencia local o regional). [n]
- Las corrientes marinas que llevan la arena hacia mar afuera y que hacen que esa arena se pierda del sistema, como cuando se va pendiente abajo en el **veril** o los cañones submarinos. [n]
- La remoción o pérdida de vegetación en las playas y dunas de arena. La formación de las dunas de arena está condicionada a la presencia de algún tipo de vegetación que evite la erosión del viento.
- El oleaje durante periodos de tormenta. Frecuentemente las dunas de arena litorales sufren erosión producida por las olas. La erosión puede ser permanente o estacional. [n]
- Las tormentas que anualmente remueven sedimento de las costas, depositándolo en la plataforma insular adyacente. En estos casos las tormentas removilizan la arena que vuelve a ser transportada más tarde hacia la playa durante el verano. Este movimiento de la arena disipa la energía del oleaje y es producto de la función de defensa de las playas. [n]
- El aumento en el nivel del mar como resultado del **calentamiento global** (según Bush *et al.* 1995 esta es la amenaza principal probable causa de la erosión costera en el futuro).

- La reducción del flujo de arena por el embalsamiento de ríos. Los procesos que impiden la contribución de arena a la costa, u obstruyen su movimiento a lo largo de ella aceleran la erosión y el retroceso de la costa.
- La reducción del flujo de arena por la construcción costera (ej., Isla Verde y Punta Las Marías) que interfiere con las corrientes que suplen arena a las playas.
- Los intentos para controlar la erosión como:
 - > Los muros de contención o paredones y los revestimientos pueden acelerar la erosión reflejando la energía del oleaje

con poca disipación, lo que impide la acumulación de arena frente a la estructura. Los revestimientos lisos e impermeables son fácilmente rebasados por oleajes severos provocando inundación de la parte trasera.

- > Los espigones o espolones.
- > Los rompeolas.

¿A quién pertenece la costa?

La costa le pertenece a todos por igual y a nadie en particular por ser un **bien de dominio público**.

BIENES DE DOMINIO PÚBLICO

¿Qué es un bien?

Un bien es todo aquello que puede constituir riqueza o fortuna (ej., una casa, un terreno, un automóvil) (Molina 1994).

¿Cuántos tipos de bienes existen?

El Código Civil y la doctrina han dividido los bienes en varias categorías, ya sea por su naturaleza, por su destino o porque lo dispone la ley, así serán también muebles o inmuebles. Existen otras clasificaciones, particularmente en los casos de los bienes inmuebles que se refieren al uso que se les da, esto es, dependerá dicha clasificación de si son públicos o privados, o según a quienes pertenecen (si son bienes **patrimoniales** o **no patrimoniales**). Los no patrimoniales o comunes no son susceptibles de apropiación porque no están en el comercio de las personas. Este último caso se refiere al mar y sus riberas, al aire y a las aguas pluviales. Estas clasificaciones tienen como consecuencia e influyen en los términos para computar la **usucapión**, de ser usucapibles o no, e incluso de determinar delitos, de no ser apropiables dichos bienes.

Resumiendo, para nuestros propósitos, hay dos tipos de bienes (Fig. 2.1):

- 1) Las cosas o bienes susceptibles de apropiación que son los bienes de los particulares que pueden estar afectados al uso o **dominio** público; o ser bienes patrimoniales del Estado, afectados al uso o dominio público. (Vélez Torres 1983).
- 2) Las cosas o bienes NO susceptibles de apropiación que son los bienes de dominio público o no patrimoniales.

¿Qué es usucapión?

Usucapión quiere decir en derecho la adquisición de una propiedad o de un derecho real mediante su ejercicio en las condiciones y durante el tiempo previsto por la ley.

¿Qué significa dominio?

Dominio es el concepto legal que tiene que ver con el derecho de propiedad, que está definido como “el derecho por virtud del cual una cosa pertenece en particular a una persona con exclusión de cualquier otra. La propiedad concede el derecho de gozar y disponer de las cosas sin más limitaciones que las establecidas en la ley” (Código Civil 1930). Este derecho incluye el uso exclusivo del bien o cosa, la percepción de sus frutos y la capacidad para disponer del bien o cosa en su totalidad o de alguno de sus elementos.

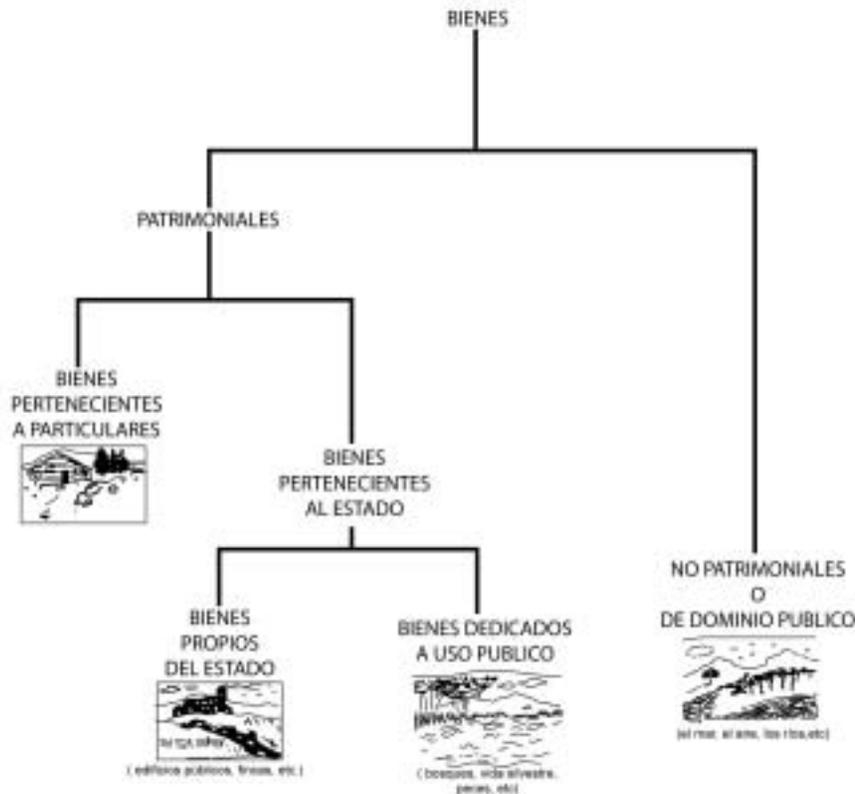
¿Qué es un bien patrimonial?

Un bien patrimonial es un bien perteneciente a un particular (incluso el gobierno) el cual excluye a los demás, dedicado al uso y disfrute por dicho particular (ej., una casa, un terreno que no esté afectado por el uso público). En otras palabras, los bienes susceptibles de apropiación que están en nuestra posesión para usar, disfrutar o disponer de ellos son nuestros bienes patrimoniales (Molina 1994).

¿Qué es un bien de dominio público o no patrimonial?

Un bien de dominio público o no patrimonial se refiere al bien que pertenece a todos por igual y a nadie en particular. Dichos bienes no están sujetos ni a enajenación (son inalienables) ni a prescripción adquisitiva (son imprescriptibles) y no se pueden gravar con **servidumbres**.

FIGURA 2.1. Ilustración de los diferentes tipos de bienes (Molina 1994).



DEFINICIONES

BIENES

Cosas que pueden constituir riqueza o fortuna.
Ej: una casa, un carro, un terreno.

BIENES PATRIMONIALES

Cosas que pertenecen a un particular excluyendo a los demás (Ej: su casa, su carro, su terreno) y las propiedades del Gobierno de Puerto Rico, tales como: edificios, fincas y equipo, entre otros.

BIENES DE DOMINIO PUBLICO

Cosas comunes, que por su naturaleza o destino, pertenecen a todos por igual y nadie en particular. Su uso y disfrute pertenecen a todos los hombres. En Puerto Rico lo son:

- los peces
- el aire
- las aguas superficiales y subterráneas
- el mar y las riberas
- la zona marítimo-terrestre y los terrenos bajo el mar

- el cauce de los ríos y riberas
- los minerales económicos (oro, petróleo, cobre, níquel, etc.)
- Los materiales económicos (arena, grava, piedra, etc.) que están en terrenos de dominio público (en la zona marítimo-terrestre, en el cauce de los ríos y en el mar.)

BIENES PATRIMONIALES PERTENECIENTES AL ESTADO DEDICADOS A USO O UTILIDAD PUBLICA

Cosas pertenecientes al gobierno de un Estado que han sido destinadas a fin público para que el Pueblo las use y disfrute o las explote para beneficio del pueblo. Por ejemplo, en Puerto Rico lo son:

- la vida silvestre
- los bosques, entre otros.

¿Cuáles son ejemplos de bienes de dominio público?

Los bienes de dominio público en Puerto Rico lo son: el aire, las aguas superficiales y subterráneas, el mar y sus riberas, la zona marítimo-terrestre, los terrenos bajo el mar, el cauce de los ríos y sus riberas, los minerales económicos (ej., oro, petróleo, cobre, níquel) y los materiales económicos (ej., arena, grava, piedra).

¿Con cuáles requisitos tiene que cumplir una persona o entidad al querer excavar a profundidad su propiedad en búsqueda de minerales o tesoros (según los define el Código Civil)?

Se requiere un permiso por ley para excavar, extraer, remover o dragar los componentes de la corteza terrestre, tanto en terrenos públicos como en terrenos privados (DRNA 1968).

¿Qué es un bien patrimonial dedicado al uso y disfrute del público?

El Estado posee bienes patrimoniales dedicados al uso y disfrute del público, aunque con atributos de bien de dominio público. Este es el caso de los edificios públicos, los peces, los bosques y la vida silvestres por ejemplo. El Estado también puede gravar la propiedad privada y pedir que se destine al uso público. Tal es el caso de las servidumbres. Las servidumbres son bienes que por su naturaleza eran de propiedad privada, pero perdieron esa cualidad al ser destinadas para un fin público y ser incompatibles a la propiedad privada (Molina 1994). Las servidumbres de áreas verdes en una urbanización es un ejemplo de una franja de terreno que pertenece a un particular o que es un bien patrimonial, pero que se dedica a un uso público. Otros ejemplos serían los caminos, accesos, plazas, **servidumbres de vigilancia litoral y las de salvamento** en nuestras playas.

¿Existen bienes patrimoniales públicos?

Sí, pueden existir bienes patrimoniales propios del Estado, los cuales el Estado posee y administra como un particular (ej., edificios, equipos, terrenos).

¿Qué es una servidumbre?

Una servidumbre es una restricción o gravamen del derecho de la propiedad o dominio privado que tiene como fin el uso público o el interés de los particulares (Molina 1994). Es un bien patrimonial de particulares o del estado gravado. Por ejemplo, riberas de los ríos, servidumbres de vigilancia, servidumbres de paso, servidumbres de salvamento.

¿Qué son las servidumbres de vigilancia litoral y de salvamento?

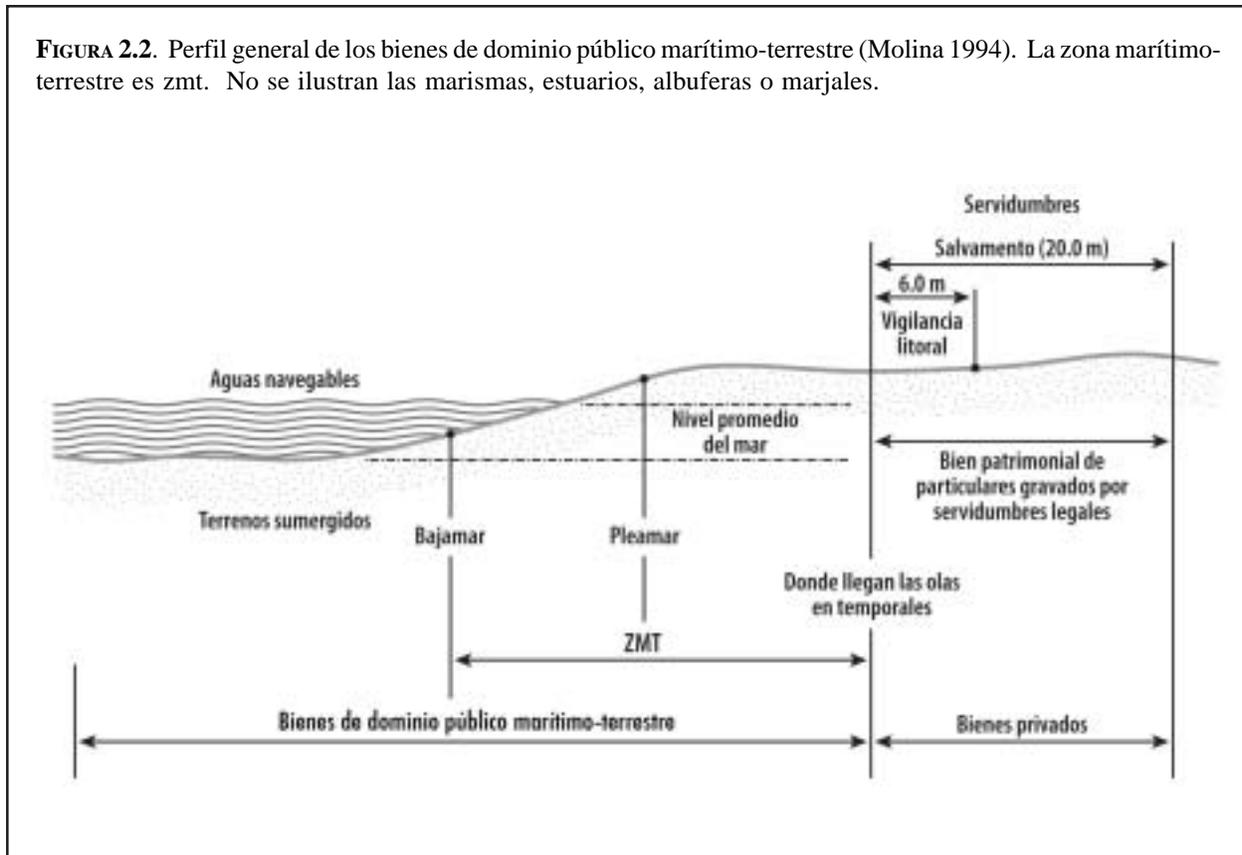
La servidumbre de vigilancia litoral tiene el propósito de darle paso a personas encargadas de vigilar las costas. La servidumbre de salvamento tiene la función de permitir el acceso a la costa para prestarle auxilio a naufragos en caso de un naufragio (Fig. 2.2).

Definiciones legales:

La servidumbre de vigilancia litoral consiste en la obligación de dejar expedita una vía general de seis metros de ancho contigua a la línea de mayor pleamar o la que determinen las olas en los mayores temporales donde las mareas no sean sensibles. En los pasajes de tránsito difíciles o peligrosos podrá internarse la vía más de seis metros, pero sin que exceda de lo estrictamente necesario (Ley de Puertos para la Isla de Puerto Rico 1886).

Servidumbre de salvamento se refiere a los terrenos de propiedad privada que colindan con el mar o están enclavados en la zona marítimo-terrestre. Constituye una franja de 20m de ancho, medida desde la **delimitación de la zona marítimo-terrestre** hacia el interior. Es un bien patrimonial de particulares gravado por su ubicación (Ley de Puertos de 1886). El Reglamento Número 17 de la Junta de Planificación, Reglamento de Zona Costanera y accesos a las Playas y Costas del 3 de mayo de 1987 dispone en la sección 3.05 (E) que "...la Junta requeriría que se dedique, para uso público, una faja de terrenos de veinte (20) metros de ancho mínimo, paralela y medida desde la zona marítimo-terrestre".

FIGURA 2.2. Perfil general de los bienes de dominio público marítimo-terrestre (Molina 1994). La zona marítimo-terrestre es zmt. No se ilustran las marismas, estuarios, albuferas o marjales.



¿Pueden haber otras servidumbres en la costa?

Sí. Un ejemplo serían las servidumbres de conservación. Estas servidumbres permiten la conservación de los valores naturales en

la propiedad privada. Otro ejemplo son las servidumbres de acceso a la costa, normalmente perpendiculares a ésta, que se supone que garantizan el acceso público a las costas.

BIENES DE DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE

¿Qué son los bienes de dominio público marítimo-terrestre?

Los bienes de dominio público marítimo-terrestre se refieren a “la ribera del mar y de los ríos, incluyendo la zona marítimo-terrestre la cual se extiende también por los márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas; incluye aquellas **marismas (salitrales), albuferas, marjales, estuarios** y en general, los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, con su lecho y subsuelo; las **aguas territoriales** y los **terrenos sumergidos** bajo ellas” (Junta de Planificación 1983). Incluye también aquellos lugares expuestos a las mayores olas en los temporales.

LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE

¿Qué es la zona marítimo-terrestre?

La zona marítimo-terrestre es un bien de dominio público o bien no patrimonial.

La Ley de Muelles y Puertos de Puerto Rico de 1968, define esa zona:

“Espacio de las costas o fronteras marinas de la Isla de Puerto Rico y sus islas adyacentes...y que baña el mar en su flujo y reflujo, en donde son sensibles las mareas y las mayores **olas** en los **temporales** en donde no lo son. Se extiende también por los márgenes de los ríos hasta el sitio en que sean navegables o se hagan sensible las mareas”. Incluye los terrenos ganados al mar, las **accesiones** y **aterramientos** que ocasiona el mismo”.

Esta Ley de Muelles y Puertos de Puerto Rico vigente tiene sus antecedentes en la Ley Española de Puertos de 1880, extendida a Puerto Rico en el 1886 y la cual se encargaba de reglamentar las aguas marítimas. La Ley de Puertos estaba

vigente al ocurrir el cambio de soberanía en 1898 y era cónsona con la Ley Fóraker de 1900 (Historial, 12 LPRA seccs. 2101 y ss.). Otra ley importante es la Ley de Aguas de 1866, extendida a Puerto Rico ese mismo año, aunque sustituida luego por la Ley de Aguas del 1879. La Ley de Aguas contenía la definición de “playa”, que se utiliza hasta nuestros días. Ambas piezas sirvieron para configurar la legislación y reglamentos vigentes en las agencias administrativas de Puerto Rico.

Otros puntos importantes de esta ley, relacionados con la definición de zona marítimo-terrestre:

Son también de dominio público “los terrenos que se unen a la zona marítimo-terrestre por las accesiones y aterramientos que ocasione el mar. Cuando por consecuencia de estas accesiones y por efecto de retirarse al mar, la línea interior que limita la expresada zona avance hacia aquel, los terrenos sobrantes de lo que era antigua zona marítimo-terrestre, pasarán a ser propiedad del Estado...”.

“Son de dominio nacional y uso público el mar litoral o bien la zona marítima que ciñe las costas de la Isla y sus adyacentes en toda la anchura determinada por el derecho internacional, con sus **ensenadas, radas, bahías, puertos** y demás abrigos utilizables para la pesca y navegación”. Es decir, es de dominio nacional toda el área del litoral, incluso dunas de arena costeras y el fondo marino asociado por flujos e intercambios continuos de arena entre la alta playa y duna de arena litoral y la playa submarina.

Reglamento para el Aprovechamiento, Vigilancia, Conservación y Administración de las Aguas Territoriales, los Terrenos Sumergidos bajo estas y la Zona Marítimo-Terrestre (DRNA 1992):

Zona Marítimo-Terrestre “significa e incluye el espacio de las costas del Estado Libre Asociado de Puerto Rico que baña el mar en su flujo y reflujó, en donde son sensibles las mareas y las mayores olas en los temporales, en donde las mareas no son sensibles, e incluye los terrenos ganados al mar, las accesiones y aterramientos que ocasiona el mismo y los márgenes de los ríos hasta el sitio en que sean navegables o se hagan sensibles las mareas. El término, sin condicionar significa, la Zona Marítimo-Terrestre de Puerto Rico.”

Reglamento de Zonificación de Puerto Rico (Junta de Planificación 2000):

Zona Marítimo-Terrestre es “el espacio de las costas de Puerto Rico que baña el mar en su flujo y reflujó, en donde son sensibles las mareas y las mayores olas en los temporales, en donde las mareas no son sensibles, e incluye los terrenos ganados al mar y los márgenes de los ríos hasta el sitio en que sean navegables o se hagan sensibles las mareas; y el término, sin condicionar significa, además, la Zona Marítimo-Terrestre de Puerto Rico.”

Reglamento de Zonificación de la Zona Costanera y de Acceso a Playas y Costas de Puerto Rico (Junta de Planificación 1983):

Zona Marítimo-Terrestre “significa el espacio de las costas de Puerto Rico que baña el mar en su flujo y reflujó, en donde son sensibles las mareas y las mayores olas en los temporales, en donde las mareas no son sensibles, e incluye los terrenos ganados al mar y los márgenes de los ríos hasta el sitio en que sean navegables o se hagan sensibles las mareas; y el término, sin condicionar, significa la Zona Marítimo-Terrestre de Puerto Rico.”

¿Es la zona marítimo-terrestre lo mismo que la zona costanera?

No, la zona costanera es más amplia; la zona marítimo-terrestre queda dentro de la zona costanera.

¿Qué es una accesión?

“Los fenómenos naturales del movimiento de las aguas pueden dar lugar a un incremento en la extensión de un terreno o a la aparición de terrenos nuevos. En estos casos se plantea el problema de determinar a quién pertenecen estas tierras. La ley trata de solucionarlo valiéndose de la figura jurídica de la accesión (*accretion*) y señala en qué casos se produce y en cuáles no, el incremento de la propiedad afectada o más próxima al lugar en que se ha producido el fenómeno natural. Se dice que hay *aluvión* [una de las clases de accesiones] cuando la corriente del río deposita tierra en las riberas; los dueños de éstas adquieren el incremento de terreno. Pero, si a causa de este nuevo fenómeno una porción conocida de tierra es transportada a otra heredad, se dice que hay segregación de la finca disminuida y la incrementada no adquiere la propiedad de la porción depositada en ella; este fenómeno, denominado también *avulsión*, no produce accesión. Si se produce *mutación de cauce de río* [otra de las clases de accesión] de forma natural, la tierra abandonada por las aguas pertenecerá a los propietarios ribereños con línea divisoria equidistante. Si se produce la *formación de isla*, por efecto de la acumulación sucesiva de arrastres superiores y sucede todo ello en río no navegable ni flotable, la isla pertenecerá al dueño de la ribera más próxima a la isla; si ambos márgenes distan igual de la isla, ésta pertenecerá por igual a los respectivos propietarios ribereños. Pero si la isla aparece en el mar adyacente o en el río navegable o flotable, pertenecerá al Estado” (Ribó Durán 1987).

¿Qué es un aterramiento?

Un aterramiento es un montículo de escombros, lodo, detritos, residuos minerales y sedimentos que el mar deposita en su flujo y reflujó a lo alto del cordón litoral con la ayuda del viento (DRNA 1992); es el aumento del depósito de tierras, limo o arena en el fondo de un mar o de un río por acarreo natural o voluntario (Real Academia Española 2001). El aterramiento es la acumulación de sedimentos en el lecho del mar,

un río o cuerpo de agua, por causas naturales o artificiales. El aterramiento puede ser deseado o indeseado. En los puertos, bahías y lagunas este proceso natural se denomina colmatación y es generalmente indeseado. Las lagunas costeras o albuferas, sin embargo, tienden a colmatarse naturalmente convirtiéndose en marismas en cuyo caso el proceso es natural, aunque puede ser acelerado por actividades humanas. El aterramiento es parte del intercambio de arena que ocurre entre la parte alta de la playa y la playa submarina. Las dunas de arena son aterramientos.

¿Qué es una ensenada?

Una ensenada es una bahía o indentación en la costa. Las ensenadas tropicales son generalmente indentaciones de forma arqueada con promontorios rocosos en los extremos de su desembocadura. Las ensenadas son usualmente ambientes de menor energía y suelen ser poco profundas.

¿Qué es una rada?

Una rada es una bahía o ensenada donde las embarcaciones pueden anclar al resguardo de algunos vientos. Generalmente un fondeadero protegido del viento.

¿Qué es una bahía?

Una bahía es una entrada del mar en la costa, de extensión considerable, que puede servir de resguardo a las embarcaciones. Todas las bahías y sus terrenos sumergidos son parte del mar territorial.

LOS TERRENOS SUMERGIDOS

¿Qué son los terrenos sumergidos?

Los terrenos sumergidos son los “terrenos o suelos permanentemente o periódicamente cubiertos por agua hasta, pero no sobre, la línea media de la marea alta, en playas, bahías, **lagunas, pantanos** y otros cuerpos de agua” (Junta de Planificación 1983).

¿Qué son los terrenos sumergidos bajo aguas navegables?

Los terrenos sumergidos bajo aguas navegables incluye terrenos sumergidos bajo extensiones de aguas navegables alrededor de la Isla de Puerto Rico y las islas adyacentes hasta una distancia mar afuera de tres (3) leguas marinas, equivalentes a nueve (9) millas náuticas (10.35 millas terrestres/16.67 kilómetros), medidas desde la línea de costa, según haya sido o puedan ser modificadas por crecimiento de la costa, erosión o retiro de las aguas (Junta de Planificación 1983).

LAS AGUAS TERRITORIALES

¿Qué son las aguas territoriales?

Las aguas territoriales de la mayoría de los países se extienden hasta 12 millas náuticas (22.22 kilómetros) medidas desde la línea de la marea baja (bajamar) hacia el mar (Organización de las Naciones Unidas 1992). En el caso de Puerto Rico, el Estado Libre Asociado tiene soberanía sobre 9 millas náuticas (16.67 kilómetros) de las aguas territoriales y las restantes 3 millas náuticas (5.55 kilómetros) caen bajo jurisdicción del gobierno de los Estados Unidos de América.

¿Qué es la zona económica exclusiva?

La zona económica exclusiva son 200 millas náuticas (370.40 kilómetros) medidas desde la línea de la marea baja hacia el mar (Organización de las Naciones Unidas 1992) en donde el país tiene derecho a explorar, explotar, conservar y manejar los recursos naturales de las aguas y el terreno submarino; el país tiene derecho al uso y recursos del área, pero no es dueño del territorio (Birnie y Boyle 2002).

¿Qué es altamar (high seas)?

El altamar son las aguas luego de las 200 millas náuticas de la zona económica exclusiva. Estas pertenecen a todos los países por igual y a ninguno en particular, permitiendo una serie de usos de las mismas (Organización de las

Naciones Unidas 1982) tales como la pesca de altura y la libre navegación.

¿Qué son las aguas navegables?

Las aguas navegables son cuerpos de agua que tienen el potencial para ser utilizados para comercio por embarcaciones o naves comerciales (Fox 1997).

¿Qué son las aguas navegables de los Estados Unidos de América?

Las aguas navegables de los Estados Unidos de América son aquellas aguas que están sujetas al flujo y reflujos de la marea y/o son actualmente utilizadas o han sido utilizadas en el pasado, o pueden ser susceptibles para transportación interestatal o para comercio extranjero. La determinación de ser navegables, una vez hecha, aplica lateralmente sobre toda la superficie del cuerpo de agua y no se extingue por acciones posteriores o eventos que impidan o destruyan su capacidad para navegación (33 U.S.C 401 et seq., § 329.4).

¿Qué son tierras pantanosas jurisdiccionales?

Las tierras pantanosas jurisdiccionales son aquellas que cumplen con los requisitos para ser “aguas de los Estados Unidos” y que, por lo tanto, se encuentran dentro de la jurisdicción del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América (*U.S. Army Corps of Engineers*) y de la EPA (*Environmental Protection Agency* - Agencia de Protección Ambiental). Según la definición del Cuerpo de Ingenieros, son tierras pantanosas aquellas zonas que “...están inundadas o saturadas por la acción de aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración que le permiten y en circunstancias normales, albergar una vegetación adaptada a la vida en suelos saturados.” De acuerdo con esta definición, se deben cumplir tres condiciones: a) predominio de vegetación de tierras pantanosas, b) suelos hídricos (con concentraciones bajas de oxígeno en las capas superiores durante la temporada de crecimiento) y c) hidrología de tierras pantanosas.

CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA COSTA PUERTORRIQUEÑA

¿Cuáles son las condiciones climáticas de la costa de Puerto Rico?

La costa de Puerto Rico, por su localización geográfica, está constantemente sometida a cambios meteorológicos fuertes como por ejemplo **tormentas, temporales, huracanes, ondas del este, vaguadas, trombas, marejadas, oleajes e inundaciones de origen terrestre**. Las costas de Puerto Rico son tropicales (no están sujetas a heladas) y por lo general reciben menos lluvia que las partes interiores de la Isla.

¿Qué es una tormenta?

Una tormenta es un fenómeno atmosférico violento caracterizado por baja presión atmosférica, vientos fuertes y lluvia torrencial. Las tormentas pueden ser de diversas intensidades desde aquéllas de carácter conectivo, que son locales, breves y típicas de las tardes de verano, o aquéllas asociadas a disturbios atmosféricos como ondas del este, o depresiones tropicales que pueden intensificarse en ciclones o alcanzar a tornarse en huracanes (Tabla 4.1). Las tormentas pueden ser tropicales o extratropicales. Las tormentas extratropicales o borrascas no afectan a Puerto Rico directamente pues son fenómenos de latitudes subtropicales, pero cuando estos sistemas llamados “nortes” se forman en la costa este de los Estados Unidos de América suelen generar grandes olas que azotan las costas de la Isla en los meses de invierno. El mar de fondo (*swell*) provocado por disturbios extratropicales a grandes distancias de la Isla puede causar erosión de las playas, el rebase de las dunas de arena, e inundación de terrenos bajos adyacentes a la costa y daños a estructuras debidos a la erosión o inundación.

¿Qué impacto tiene una tormenta en la costa?

Una tormenta genera una cantidad enorme de energía que se manifiesta en el impacto incesante de olas de gran fuerza y tamaño cambiando así la forma de la costa (Fig. 4.1). La figura 4.2 ilustra el trayecto de las tormentas y huracanes que han pasado por Puerto Rico del 1851 al 2004. Las tormentas pueden provocar el aumento del nivel del mar sobre el cual se propagan las olas, haciendo que éstas lleguen a una nueva orilla desplazada tierra adentro. Las tormentas causan la acumulación de agua contra la costa debido al viento, la baja presión barométrica y el oleaje que rompe cerca y este efecto hace que las mareas altas astronómicas sean aún más altas y que actúen como barrera a la descarga de agua al mar por los ríos, causando inundaciones aguas arriba en los valles y zonas bajas de la costa.

¿Qué es un temporal?

Un temporal es una perturbación atmosférica en los campos de presión y vientos en escalas que van de 1 km (tornados y trombas) hasta ciclones extratropicales (2,000 a 3,000 kilómetros). Temporal es sinónimo de tormenta. Para los españoles, durante el Imperio Español en Puerto Rico los temporales incluían todos los eventos tormentosos, incluso lo que llamamos huracanes, ya que en aquellos tiempos no se clasificaban por categorías. En el presente un disturbio clasificado como temporal tiene menos intensidad que un huracán, es decir, vientos máximos menores de 75 millas por hora o 120.7 kilómetros por hora. Hoy día el término temporal se aplica estrictamente a tormentas con vientos entre fuerza 8 y 11 en la escala de Beaufort, lo que corresponde a velocidades entre 62 y 117 kilómetros por hora; menos que fuerza huracanada.

¿Cuáles son las categorías de los huracanes?

El sistema para clasificar la intensidad de los huracanes se conoce como la escala de Saffir-

FIGURA 4.1. Impacto de una tormenta en la costa (Bush *et al.* 1995). La energía del oleaje cambia el perfil de la playa.

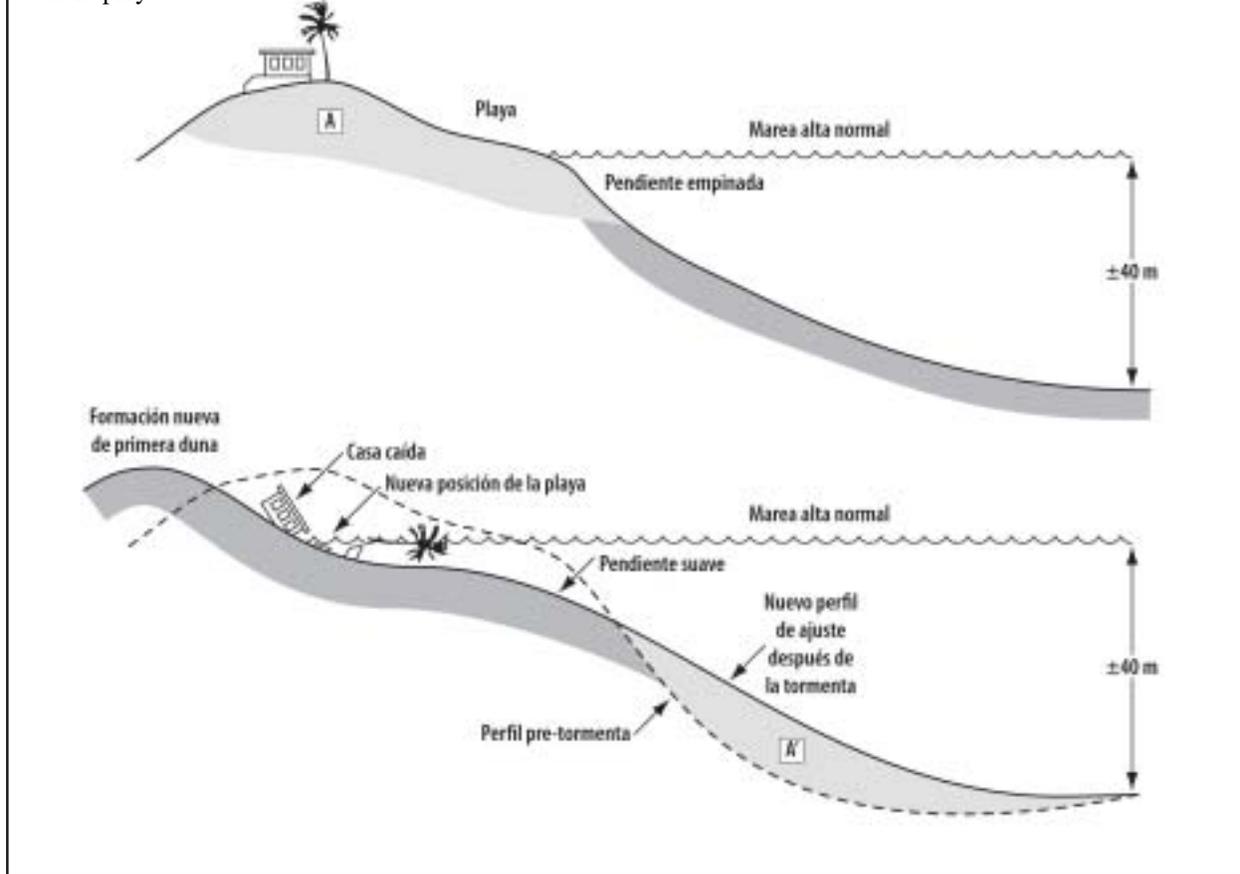


TABLA 4.1. Escala de intensidad de huracanes de acuerdo a la escala Saffir-Simpson. Un temporal tiene velocidades menores a lo indicado para la categoría 1. Las unidades de velocidad son millas por hora y kilómetros por hora.

Categoría del Huracán	Velocidad del Viento (mph) / (kph)	Marejada Ciclónica (pies) / (metros)
1	74-95 / 199-153	4-5 / 1.2-1.5
2	96-110 / 154-177	6-8 / 1.8-2.4
3	111-130 / 178-209	9-12 / 2.7-3.7
4	131-155 / 211-249	13-18 / 3.9-5.5
5	> 155 / > 249	> 18 / > 5.5

Simpson, la cual tiene cinco categorías según la velocidad del viento y la altura de la marejada ciclónica (Tabla 4.1).

¿Qué es un huracán?

Un huracán o ciclón tropical es la forma más severa de tormenta tropical con vientos que

exceden 75 millas por hora (120 kilómetros por hora). Los huracanes que afectan la Isla de Puerto Rico se originan principalmente en el Atlántico norte, cerca de la costa noroccidental de África, y en menor grado en el propio Caribe (Tabla 4.1). La formación de huracanes requiere aguas cálidas (sobre 27°C u 81°F). Por esta

razón existe una **temporada de huracanes** cuando la probabilidad de formación de este tipo de disturbio es mayor.

¿Cuál es la temporada de huracanes?

La temporada de huracanes en el Caribe se extiende desde el primero de junio hasta el 30 de noviembre. Durante el verano las aguas del Caribe y el Atlántico alcanzan temperaturas de 29°C (84°F).

¿Cuántos huracanes han pasado por Puerto Rico y cual ha sido su trayectoria?

La tabla 4.2 contiene la cronología de los huracanes que han afectado a Puerto Rico desde el 1508, mientras que la figura 4.2 ilustra la trayectoria de los huracanes y tormentas que han pasado por Puerto Rico desde el 1851 al 2004.

¿Cómo se desarrolla un huracán?

Los huracanes se desarrollan cuando las aguas del mar exceden cierta temperatura, se desarrollan en aguas cálidas; mientras más calidas las aguas, más intensos los huracanes. Los huracanes pasan por un ciclo de desarrollo que puede describirse en cuatro etapas: 1) Depresión tropical (vientos con velocidad de 62 km/hr (39 mph) o menos; 2) Tormenta tropical (velocidad entre 63 y 119 km/hr). Es en esta etapa, cuando la presión en el centro desciende por debajo de los 1,000 milibares (mb), que empieza a desarrollarse la circulación cerrada y el ojo interno y es en esta fase cuando recibe su nombre, correspondiente a una lista formulada por la Organización Meteorológica Mundial. La tormenta se considera huracán cuando el viento excede 119 km/hr (74 mph); 3) Huracán. Esta fase corresponde a la madurez, cuando el viento alcanza su máxima velocidad que puede llegar a 360 km/hr (224 mph) y el área se expande a su máxima extensión entre 500 y 900 km de diámetro. La intensidad en esta etapa se describe mediante la escala de Saffir-Simpson. Debe quedar claro que aunque los huracanes son los eventos que pueden provocar los mayores

TABLA 4.2. Cronología de los huracanes que han afectado a Puerto Rico. Algunos de los huracanes comparten el mismo nombre pues antes se nombraban por el santo del día en que afectaban.

Nombre del Huracán	Año
San Roque	1508
San Roque	1788
San Jacinto	1807
Santa Ana	1825
Los Angeles	1837
San Agapito	1851
San Lorenzo	1852
San Narcisco	1867
Santa Juana	1871
San Felipe	1876
San Gil	1888
San Martín	1889
San Magín	1891
San Roque	1893
San Ramón	1896
San Ciriaco	1899
San Cirilo	1901
San Zacarías	1910
San Hipólito	1916
San Liborio	1926
San Felipe	1928
San Nicolás	1931
San Ciprián	1932
Santa Clara	1956
Donna	1960
David	1979
Frederic	1979
Hugo	1989
Marilyn	1995
Hortensia	1996
Georges	1998

daños, las depresiones y tormentas tropicales pueden ser también destructivas debido a las lluvias torrenciales e inundaciones que suelen provocar.

¿Cómo se distribuyen los huracanes sobre Puerto Rico de acuerdo a su intensidad?

La siguiente información resume por categoría en la escala Saffir-Simpson el número de huracanes que han pasado cerca de Puerto Rico desde el 1851.

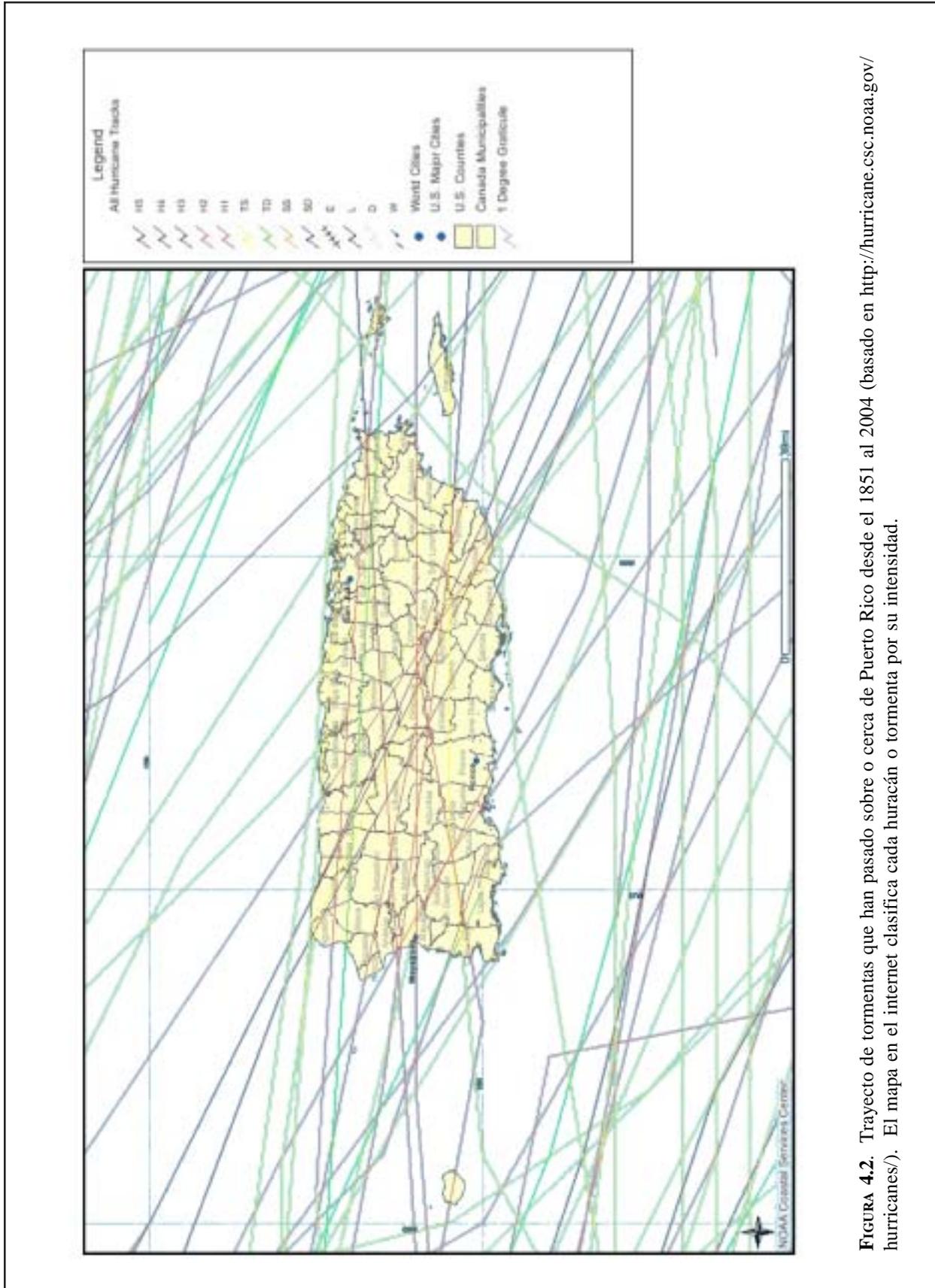


FIGURA 4.2. Trayecto de tormentas que han pasado sobre o cerca de Puerto Rico desde el 1851 al 2004 (basado en <http://hurricane.csc.noaa.gov/hurricanes/>). El mapa en el internet clasifica cada huracán o tormenta por su intensidad.

Categoría	Cantidad de Huracanes
1	14
2	12
3	6
4	5
5	2

¿Qué es una onda del este?

Una onda del este es un sistema atmosférico de baja presión o tormenta tropical procedente del este que se mueve al noroeste asociado a fuertes lluvias. Las ondas del este ocurren en las partes bajas de la atmósfera y son precursores de temporales y huracanes a medida que se organizan y aumentan sus vientos. En los mapas meteorológicos la onda toma la forma de “n”, contrario a la vaguada, que toma forma de “u”.

¿Qué es una vaguada (trough)?

Una vaguada es un sistema de baja presión barométrica que en forma de valle penetra entre dos sistemas de alta presión en los altos niveles de la atmósfera. En los mapas meteorológicos la vaguada toma forma de “u” contrario a la onda que toma la forma de “n”.

¿Qué es una tromba marina?

Una tromba marina es una columna de agua que se levanta en el mar por efecto de un torbellino.

¿Qué es una inundación?

Una inundación es “la acción o efecto en las extensiones de terreno, normalmente secos al quedar cubiertos por las aguas un terreno debido a lluvias, crecientes, marejadas y desbordamiento de **ríos, quebradas, arroyos** y a otras fuerzas de la naturaleza” (Junta de Planificación 2005). Se distinguen dos tipos de **inundaciones**: 1) **terrestres** y 2) **costeras**. Los **tsunamis** constituyen un tipo especial de inundación costera.

¿Qué son inundaciones de origen terrestre?

Las inundaciones de origen terrestre son inundaciones en la costa debido a **escorrentías** de agua procedentes de lluvias en la parte alta de las cuencas. Las inundaciones terrestres ocurren cuando se excede la capacidad de los lechos de los ríos para transportar agua y se rebasan las riberas. El asentamiento en los valles inundables es la causa principal de los daños producidos por las inundaciones.

¿Qué son inundaciones costeras?

Las inundaciones costeras son provocadas por aumentos anormales en el nivel del mar asociado a huracanes o tormentas, fuertes vientos contra la costa y fuertes marejadas o mar de fondo. El nivel de agua alcanzado es función de la fuerza del viento, la presión barométrica, la marea astronómica (ver marea), la batimetría y la velocidad de aproximación de la tormenta hacia la costa.

¿Qué es escorrentía?

Escorrentía (*runoff*) es el agua de lluvia que discurre por la superficie de un terreno (Real Academia Española 2001).

¿Qué es un evento de 100 años?

Un evento de 100 años es un término estadístico que define la frecuencia de un evento. Supongamos que tenemos 1000 años de datos sobre la magnitud (ej., profundidad) de inundaciones en Puerto Rico. La magnitud de inundación de 100 años de recurrencia es la profundidad igualada, o sobrepasada, solamente 10 veces en ese récord de datos. Como fue igualada, o sobrepasada, 10 veces en esos 1000 años de datos, en promedio ocurrió una vez cada 100 años.

¿Y en el caso de que no existan 1,000 años de datos?

Para calcular un evento de 100 años se estima la frecuencia de los eventos con los datos disponibles. Un estimado presenta gran

incertidumbre. Es por eso que a medida que se generan más datos, las frecuencias estimadas para los eventos cambian. Además existen métodos estadísticos llamados estadística de extremos para extrapolar los años que se tengan a 100, 1,000 y 10,000 años si necesario. Los diques que protegen a gran parte de Holanda están diseñados para una tormenta de 10,000 años, aunque es obvio que no existen 10,000 años de datos climatológicos. Por ejemplo, según la Junta de Planificación (www.floods.org/PDF/SBP_PR_05.pdf) en la cuenca hidrográfica del Río Grande de Añasco las aguas del río han alcanzado, o sobrepasado, el nivel de 100 años de recurrencia 17 veces en 31 años. Esto es, cada 2 años en promedio.

¿Los eventos de 100 años, ocurren cada cien años?

No, el evento de 100 años puede ocurrir en cualquier momento ya que lo que lo define es la magnitud del evento en relación con todos los eventos conocidos. Volvamos al ejemplo anterior: esas 10 veces en que la magnitud de inundación de 100 años de recurrencia fue

igualada, o sobrepasada, pueden haber ocurrido en años sucesivos durante cualquier periodo de esos 1,000 años de datos.

¿Qué es un huracán de 100 años?

Un huracán de cien años es un huracán que, en algún lugar en específico, genera vientos o marejada ciclónica que tiene un periodo de recurrencia de 100 años. Estos huracanes son muy poderosos y dañinos a la infraestructura y por su alta frecuencia requieren medidas extremas de protección.

¿Qué es una inundación de 100 años?

Una inundación de cien años es un evento de inundación, en algún lugar en específico, cuya profundidad de inundación tiene un periodo de recurrencia de 100 años. Estas son las inundaciones más extensas y dañinas a la agricultura e infraestructura. Desde el punto de vista regulatorio, esta inundación se conoce como la **inundación base** (vea el capítulo 7).

ASPECTOS FÍSICOS DE LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE

PLAYAS

¿Qué es la Playa?

La playa o ribera del mar es el depósito de material no-consolidado localizado entre la línea de bajamar hasta donde haya un cambio marcado en el material, en la forma fisiográfica o en la línea de vegetación permanente y está sujeta al viento y al impacto de procesos hidrodinámicos diarios (Voigt 1998, McGraw-Hill 2003).

Definición Técnica:

La playa o ribera del mar es una costa con sustrato particulado, suelto y en movimiento (Cerame Vivas 1988). La playa es una unidad geomorfológica del litoral, es decir, de la ribera del mar. En términos geológicos e ingenieriles, la playa se extiende hacia tierra firme hasta el punto más distante en que la arena es transportada por procesos litorales. Para Davis (1982), la playa es la acumulación de sedimentos no consolidados limitada por la marea baja de lado del mar y por el límite de la acción del oleaje de tormenta en el lado hacia tierra. Según Komar (1998), la playa es definida como la acumulación de sedimentos no consolidados que se extiende hasta algún cambio fisiográfico, tal como un campo de dunas de arena, o el punto donde se establece la vegetación permanente. Según Komar el límite inferior de la playa está definido por el punto donde las olas ponen en movimiento el material no consolidado del fondo, la cual se conoce como la profundidad de cierre de la ola, es decir, la porción entre bajamar y la profundidad de cierre es la parte submarina de la playa. Técnicamente según estas definiciones ofrecidas en los trabajos clásicos y plenamente vigentes sobre el tema, la playa es una unidad geomorfológica de la ribera del mar que se extiende tierra adentro hasta el máximo alcance de las olas de tormenta en pleamar viva, o donde se encuentra la vegetación permanente, o la

cresta del campo de dunas de arena, y hacia el mar hasta la profundidad de cierre de las olas (Hancock y Skinner 2000; Clark y Stiegeller 2000).

Definición legal:

Según la Ley de Aguas española de 1866, que fue extendida a Puerto Rico ese mismo año: La playa es el espacio que alternativamente cubren y descubren las aguas en el movimiento de la marea. Forma su límite interior o terrestre la línea hasta donde llegan las más altas mareas y **equinocciales**. Donde no fueren sensibles las mareas, empieza la playa por la parte de tierra en la línea donde llegan las aguas en las tormentas o temporales ordinarios.” Es decir, la playa según esta ley no es meramente la zona del estrán sino que incluye la alta playa también.

Junta de Planificación:

La playa es la “ribera del mar o del océano formada de arenas firmes, con pendiente suave y ocasionalmente grava, e incluyendo la porción de agua contigua a esta ribera. Las playas son formaciones geológicamente inestables y pueden adentrar hacia el mar, retirarse o desaparecer” (Junta de Planificación 1983).

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales:

La playa es “la ribera del mar o del océano formada de arena no consolidada, ocasionalmente grava o pedregales, en superficies casi planas, con pendientes suaves, con o sin vegetación característica” (DRNA 1992).

¿Cuál es la relación entre la playa y la zona marítimo-terrestre?

La playa es zona marítimo-terrestre porque ambas se definen por el alcance de las olas durante temporales. Cuando ocurren humedales

mareales (manglares, salitrales o lodazales) detrás de las playas, la playa es parte de la zona marítimo-terrestre ya que el alcance de la zona marítimo-terrestre incluye los humedales mareales, donde no hay oleaje.

¿Qué se quiere decir con la frase “las playas son públicas”?

Esta frase se refiere a que las playas son parte de la zona marítimo-terrestre y por lo tanto son un bien no-patrimonial (le pertenece al público puertorriqueño) y que su uso no se puede privatizar.

¿Cuáles son los tipos de material no-consolidados que encontramos en una playa?

Los tipos de material no-consolidados que encontramos en una playa son:

Nombre	Nombre (inglés)	Tamaño (mm)
Pedrejón/pedrusco ^a	<i>Boulder</i>	>256
Adoquín	<i>Cobble</i>	64 a 256
Guijarro	<i>Pebble</i>	4 a 64
Gravilla (cascajo)	<i>Gravel</i>	2 a 4
Arena	<i>Sand</i>	1/16 a 2
Limo	<i>Silt</i>	1/256 a 1/16
Arcilla	<i>Clay</i>	<1/256

^aTambién se describe como peñón.

¿Cómo difieren las playas?

Las playas difieren en la energía del oleaje y en los tipos de material. Las playas tienden a estar compuestas por un material arenoso, aunque también pueden estar constituidas por grava o pedregales o fragmentos de conchas y corales. En general, el concepto de playa está íntimamente asociado a la presencia de arena. Es decir, el nombre playa se utiliza cuando el material acumulado puede ser clasificado como tal. Para las costas bordeadas de otros tipos de acumulaciones es preferible utilizar el término modificado en relación al tipo de material; por

ejemplo, playa de cascajo. El tipo de material, el tamaño del mismo, la orientación de la playa, el ancho de la plataforma insular, las olas y las condiciones climáticas son factores que influyen a cada playa de forma diferente, causando que cada playa sea diferente (Pilkey y Dixon 1996).

¿Qué tienen en común todas las playas?

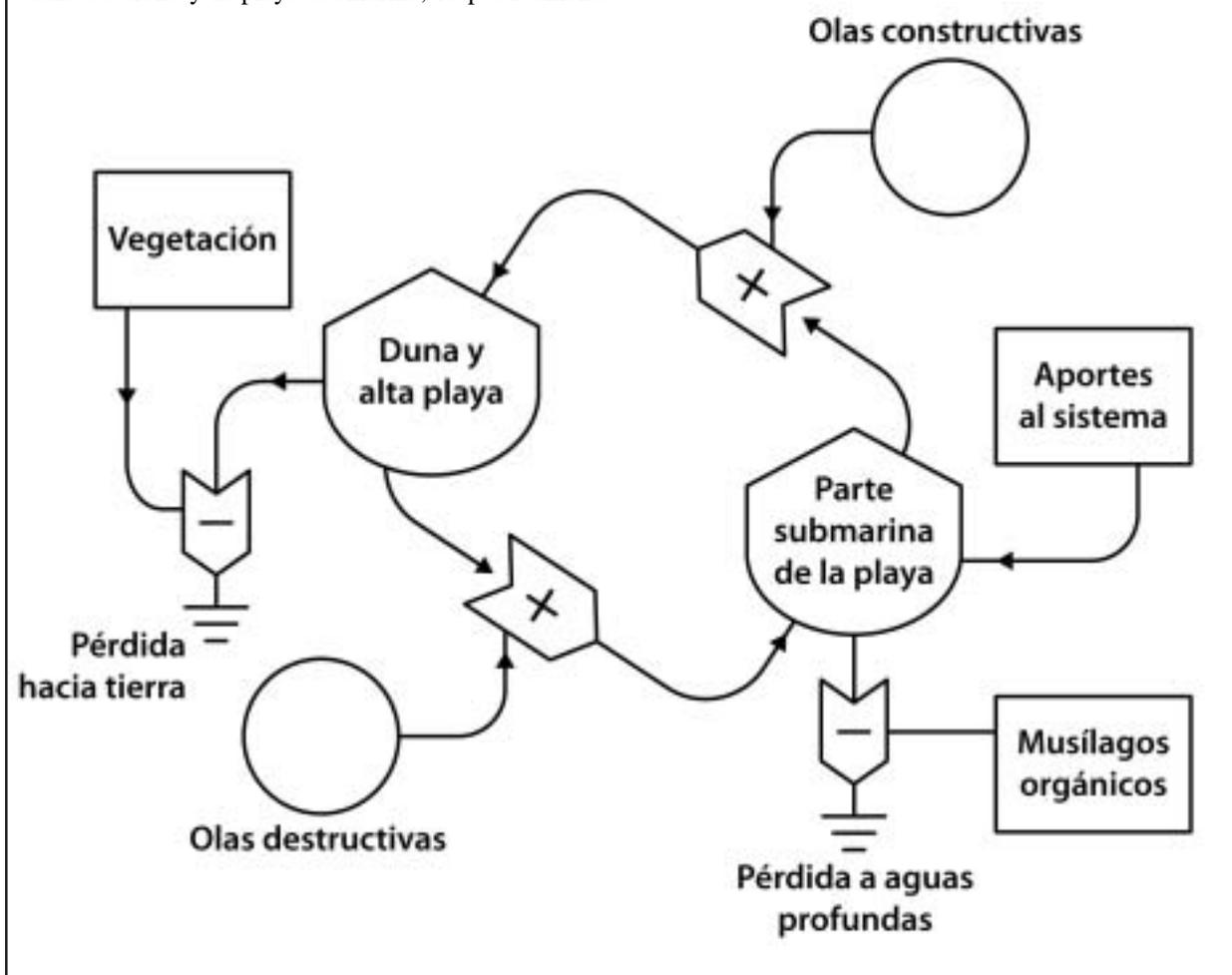
Todas las playas tienen un balance dinámico (Fig. 5.1) que involucra cuatro factores principales: dinámica de las olas, energía de las mareas, calidad (granulometría) y cantidad del sedimento, forma y ubicación (orientación) de la playa y el nivel del mar (Pilkey y Dixon 1996). Todas las playas son sistemas dinámicos. Como resultado de los cambios en las condiciones del oleaje las

playas experimentan modificaciones cíclicas. Los ciclos cortos están asociados a tormentas o perturbaciones con duración de pocas horas y los ciclos más largos están asociados a cambios estacionales en la energía del oleaje. Por esta razón las playas suelen manifestar un ciclo anual donde son más anchas en el verano y más estrechas en el invierno.

¿Cuál es la fuente de arena de una playa arenosa?

Cada playa obtiene arena nueva, que nunca ha estado en el área de oleaje, de una combinación de fuentes: la plataforma insular y

FIGURA 5.1. Balance dinámico de la arena en las playas. La cantidad de arena es estable debido al balance entre los aportes al sistema de las cuencas hidrográficas y las pérdidas a aguas profundas. La arena se mueve entre la duna de arena y alta playa y la parte submarina de la playa. El oleaje (olas constructivas y olas destructivas), que refleja el nivel del mar, es responsable por el movimiento continuo de la arena entre la duna de arena, playa alta y playa submarina. La vegetación y mucílago orgánicos retardan la pérdida de área de la duna de arena y la playa submarina, respectivamente.



específicamente los depósitos de la parte submarina de la playa, los ríos y en menor grado la erosión de acantilados (Fig. 5.2). Las fuentes de arena secundaria suplen material a la playa de playas cercanas a través de las corrientes a lo largo de la costa (*longshore currents*) que corren paralelas a la costa (Fig. 5.3) (Pilkey y Dixon 1996) y la transferencia lateral a lo largo de las propias playas (deriva litoral; Fig. 5.4).

¿De qué está compuesta la arena en Puerto Rico?

Las arenas en Puerto Rico son por lo general arenas cuarzosas a veces muy enriquecidas por

fragmentos de caracoles y corales, lo que le da ese color de marrón claro a blanco. Otras arenas no contienen corales ni caracoles pues son arenas minerales producto de la erosión tierra adentro que subsiguientemente son transportadas a la costa por los ríos y las escorrentías. Los minerales y el color de la arena dependen de la composición de las rocas en las cuencas donde ocurre la erosión. En algunas áreas como la costa de Maunabo, que está a cierta distancia de las desembocaduras de los ríos, la arena de las playas es negra como resultado de los minerales que le dan origen.

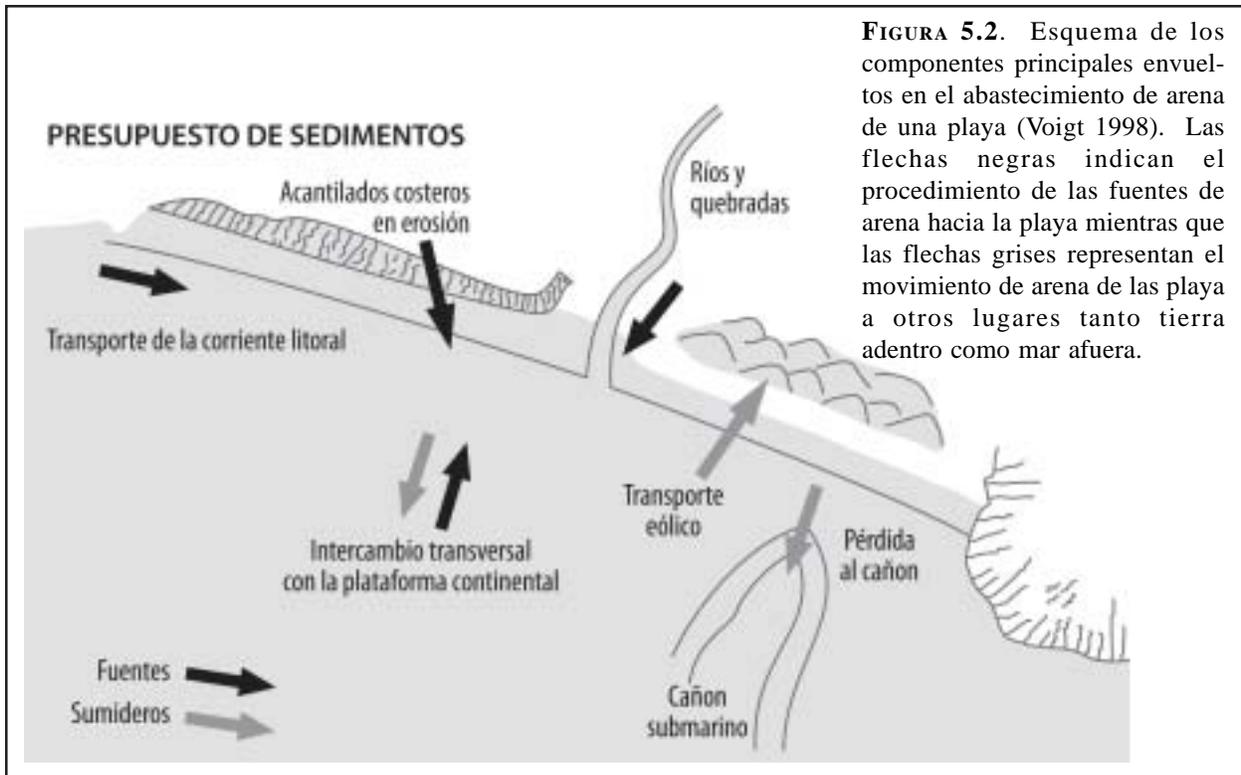


FIGURA 5.2. Esquema de los componentes principales involucrados en el abastecimiento de arena de una playa (Voigt 1998). Las flechas negras indican el procedimiento de las fuentes de arena hacia la playa mientras que las flechas grises representan el movimiento de arena de las playa a otros lugares tanto tierra adentro como mar afuera.

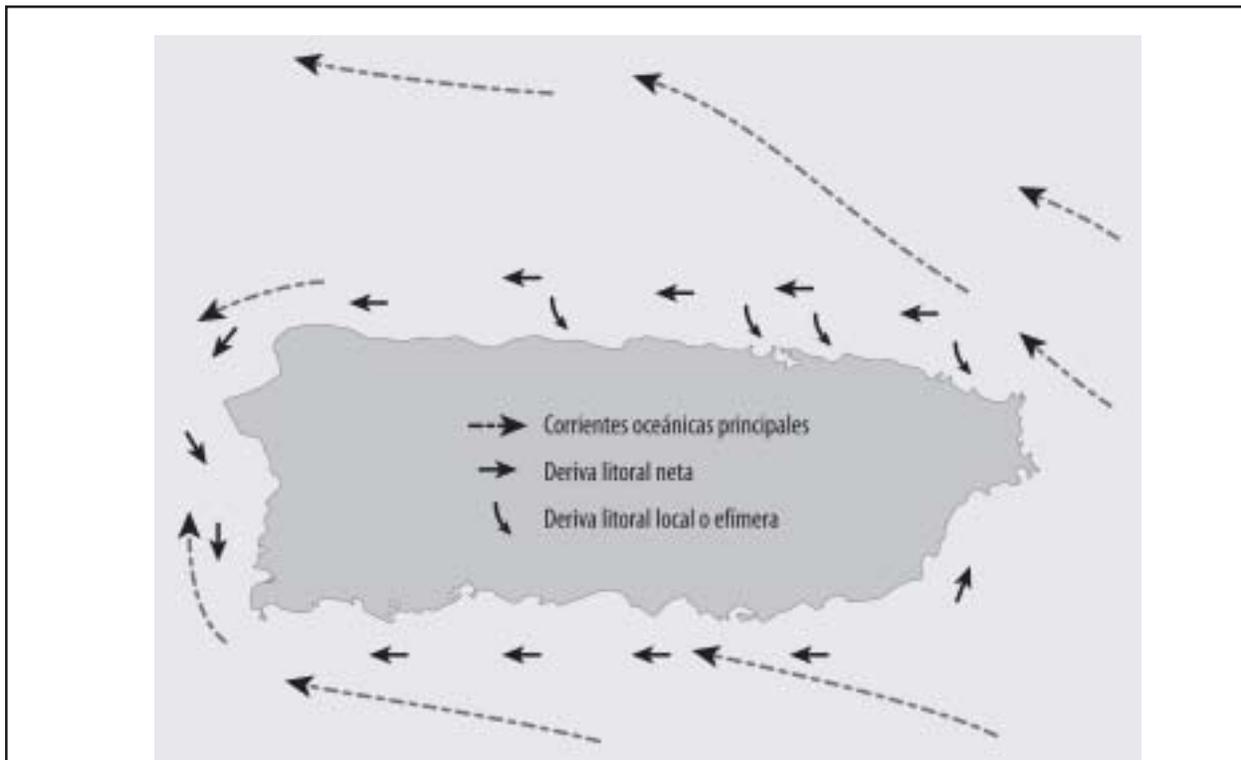


FIGURA 5.3. Principales corrientes marinas de Puerto Rico (Bush *et al.* 1995). En la costa norte las corrientes locales van en dirección opuesta a la corriente principal. Eso explica porqué las descargas de aguas usadas mar afuera de parte de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados terminan regresando a la costa donde se originaron.

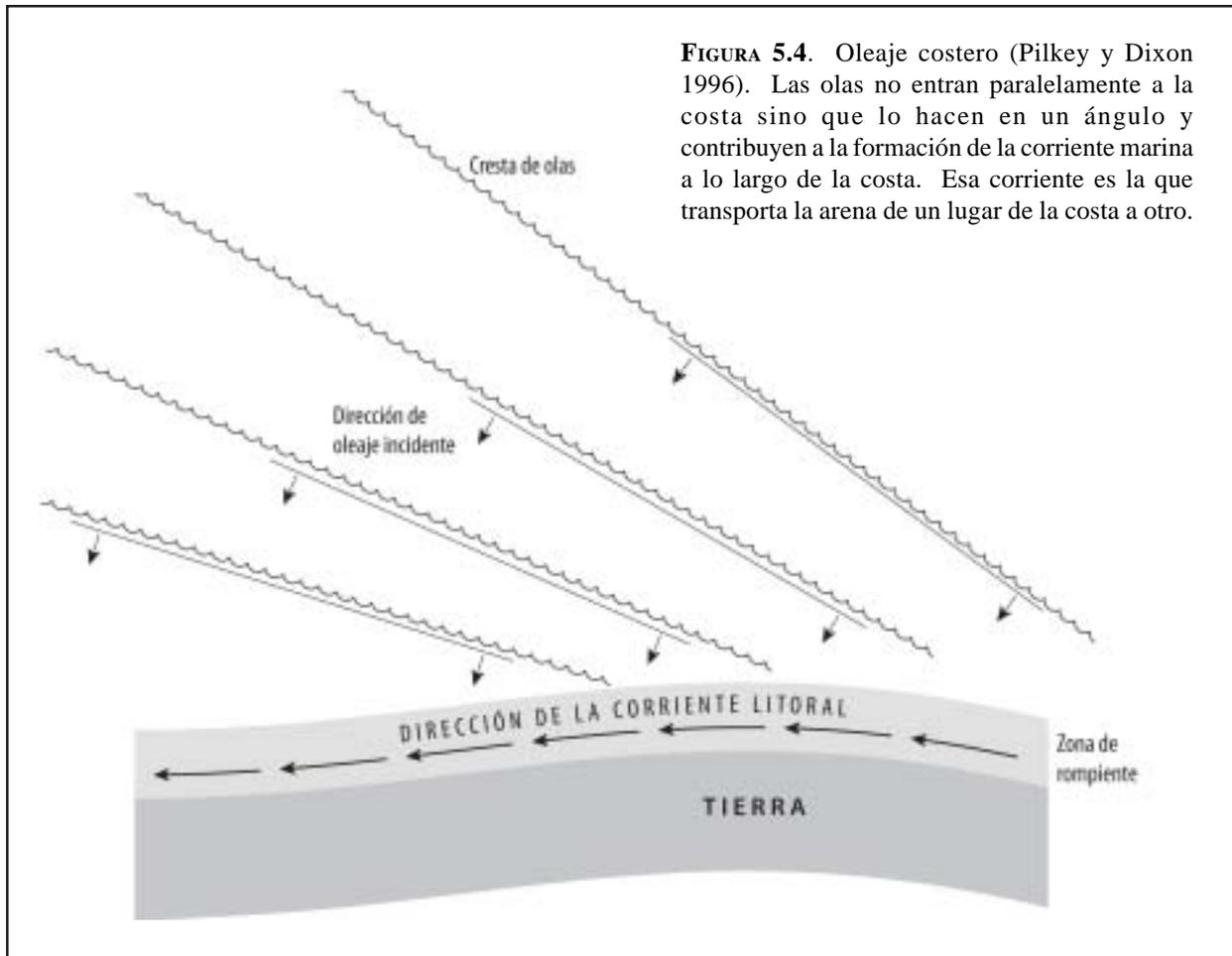


FIGURA 5.4. Oleaje costero (Pilkey y Dixon 1996). Las olas no entran paralelamente a la costa sino que lo hacen en un ángulo y contribuyen a la formación de la corriente marina a lo largo de la costa. Esa corriente es la que transporta la arena de un lugar de la costa a otro.

¿Qué otro tipo de playa hay en Puerto Rico?

Además de las playas de arena, en Puerto Rico hay playas de grava y playas fangosas (García Ríos 2005).

¿Dónde están las playas en Puerto Rico?

García Ríos (2005) publicó un mapa con la ubicación de las 53 playas de arena más importantes en Puerto Rico, Vieques y Culebra (Fig. 6.1).

¿Qué factores naturales son responsables por el movimiento de arena en la zona marítimo-terrestre?

La deriva litoral inducida por el rompimiento de las olas a cierto ángulo con la costa, las mareas astronómicas y el viento son los factores

naturales responsables por el movimiento de arena en la zona marítimo-terrestre. La arena se mueve lateralmente en la costa de acuerdo a la corriente de agua costera y se mueve tierra adentro de acuerdo al viento.

¿Cómo se mueve la arena en la zona marítimo-terrestre?

El movimiento de sedimentos por el litoral ocurre de dos formas. 1) Por transporte lateral a lo largo del estrán (la deriva de playa). 2) Por corrientes litorales. El sedimento puesto en suspensión por las olas es transportado también a lo largo de la costa por la combinación de corrientes generadas por el oleaje, mareas y viento. Las corrientes litorales pueden desarrollar velocidades de 1.6 o más kilómetros por hora. La corriente de resaca (*rip current*)

es un flujo de retorno hacia el mar, que se hace muy notable cuando hay grandes olas. Parte de esta corriente puede ocurrir por debajo del seno de la ola pero en general las corrientes de resaca crean torbellinos en la superficie que se destacan por su turbulencia, agua espumante y turbidez. Estas corrientes son extremadamente peligrosas para los nadadores. Aunque la resaca puede transportar sedimentos hacia el mar, el movimiento en dirección a la costa tiende a prevalecer debido a su mayor magnitud. Es decir, las olas mueven la arena en la playa en tres direcciones: hacia la costa, a lo largo de la costa y mar afuera (Bush *et al.* 1995). A lo largo de la propia playa, en la zona de estrán, la arena se mueve en un patrón de zigzag. Debido a que normalmente las olas vienen a cierto ángulo con la orilla, al romper crean una embestida o chorro de agua a lo largo de la misma. A su vez, el **remonte** (*runup*) de la ola impulsa los granos de arena oblicuamente playa arriba. El retorno y arrastre del agua es por la pendiente más fuerte, es decir casi perpendicular. Esta combinación de movimientos crea un patrón de zigzag parecido a los dientes de una sierra, pero el movimiento neto es paralelo al litoral y sobre el estrán. El remonte y arrastre definen el estrán o zona batida por el oleaje. El tipo de rompiente, la porosidad de la arena, el nivel freático y la existencia de bermas afecta el grado de remonte.

¿Qué es saltación?

La saltación es el término que se utiliza para describir el movimiento de partículas transportadas por viento o agua y que son muy pesadas para mantenerse en suspensión, como por ejemplo el transporte tierra adentro de la arena. Los granos de arena impulsados por vientos fuertes caen por gravedad sobre los granos de arena en la playa y ponen en movimiento a otros granos de arena. Así siguen rodando y saltando de un lugar a otro.

¿Cuál es la relación entre las fuerzas causantes de la saltación y el sustrato arenoso?

El impacto de un grano de arena sobre otras superficies es proporcional a la raíz cuadrada

de su diámetro. Cuando la velocidad del viento excede 4.5 metros por segundo (m/s), el flujo de arena es proporcional al cubo de la velocidad del viento. En otras palabras, por cada incremento en velocidad del viento, el movimiento de arena aumenta por un factor cúbico (se multiplica por sí mismo tres veces). El mayor flujo de arena lo causan los vientos más fuertes pero para que pueda haber transporte eólico la arena tiene que estar seca. La humedad da cohesión y por tanto es un obstáculo al movimiento. Por esa razón la acción del viento sobre el estrán, o zona intermareal, es nula pero una vez se seca la arena es acarreada por el viento. El estrán actúa como proveedor de arena a las partes altas de la playa. La vegetación juega un papel fundamental para atrapar y estabilizar los sedimentos de la parte alta de la playa y evitar la deflación eólica.

¿Es estática la forma de una playa?

No. Las costas y muy particularmente las costas arenosas son altamente dinámicas y su forma evoluciona constantemente en respuesta a las condiciones imperantes. La causa de ese estado dinámico es la concentración de energía en una faja relativamente estrecha. Los cambios en la morfología de las playas reflejan el proceso de disipación de la energía transformándose la misma en trabajo, por ejemplo, la entalladura del litoral y el transporte de sedimentos. La energía de las olas es responsable de este movimiento de arena que causa que la playa cambie su forma. Cuando la energía es baja, como lo es durante el verano, la playa se suple de arena y tiende a ser más ancha; cuando la energía es alta, como en invierno, ocurre lo contrario, las olas actúan como excavadoras, aumenta la pendiente y la playa se hace inestable, menos ancha y hasta puede desaparecer temporalmente (Fig. 5.5). Durante el verano predominan las olas constructivas que transportan material playa arriba. El aplanamiento de la playa se intensifica aún más durante las tormentas (Fig. 5.6). Las playas adquieren un **perfil de equilibrio** o forma que representa el balance entre la erosión y la deposición de arena.

FIGURA 5.5. Cambio de la forma de la playa en relación a la energía de las olas (Voigt 1998).

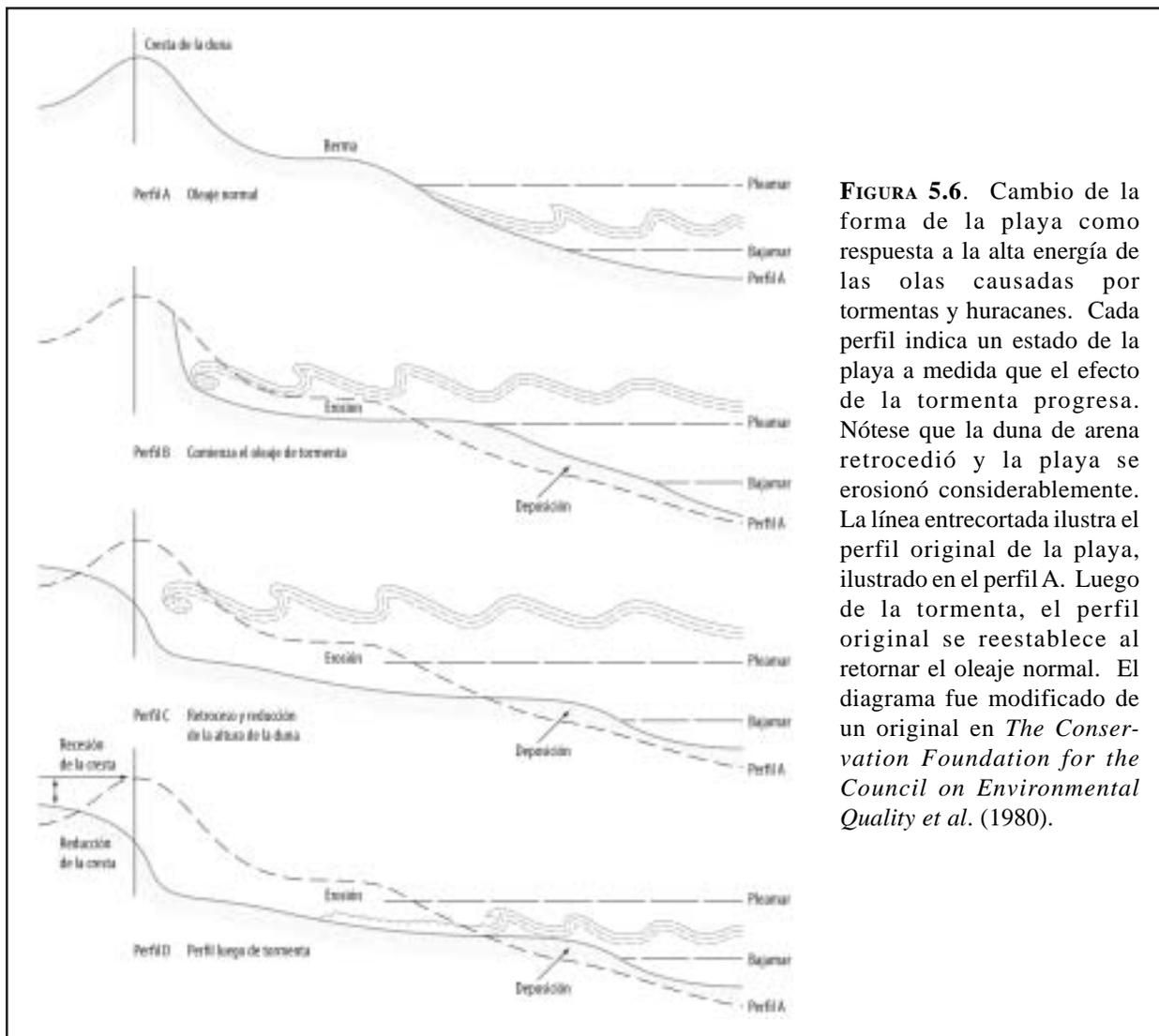
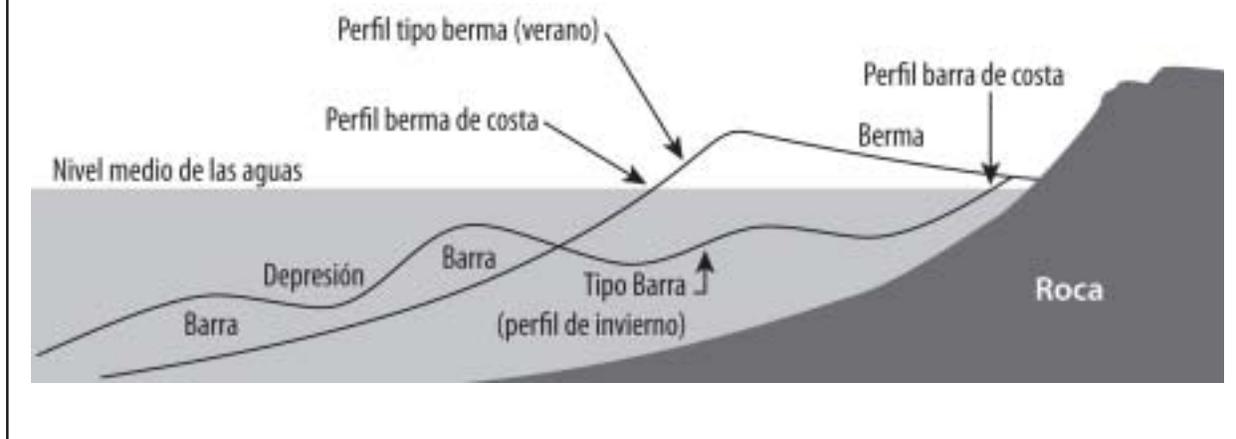


FIGURA 5.6. Cambio de la forma de la playa como respuesta a la alta energía de las olas causadas por tormentas y huracanes. Cada perfil indica un estado de la playa a medida que el efecto de la tormenta progresa. Nótese que la duna de arena retrocedió y la playa se erosionó considerablemente. La línea entrecortada ilustra el perfil original de la playa, ilustrado en el perfil A. Luego de la tormenta, el perfil original se reestablece al retornar el oleaje normal. El diagrama fue modificado de un original en *The Conservation Foundation for the Council on Environmental Quality et al.* (1980).

¿Qué es el perfil de equilibrio de una playa?

El perfil de equilibrio de una playa es la configuración o forma de la playa bajo condiciones cuasi-estacionarias. Aunque esta condición de equilibrio no existe en la naturaleza (debido al dinamismo incesante), este concepto se emplea para obtener una representación aproximada de la morfología de la playa. Por ejemplo, el perfil de equilibrio se utiliza en la estimación del volumen de arena requerido para las obras de restauración. El perfil de equilibrio representa un balance entre los procesos de deposición y erosión. Una pendiente relativamente empinada favorece el oleaje destructor y la remoción de sedimentos del lado terrestre y su deposición afuera, suavizando la pendiente. Lo contrario, una pendiente suave favorece el oleaje constructivo y se aumenta el depósito de arena de modo que la pendiente se acentúa nuevamente. Así, la pendiente está siendo continuamente modificada. Cuando el perfil queda ajustado se alcanza el llamado perfil de equilibrio. El perfil real de la playa varía pues durante el invierno se pierde material de la parte intermedia de la playa y éste se deposita en la parte frontal (sumergida) de la playa. De esa forma se enmagrece (enflaquece) la parte intermedia de la playa y se achata el perfil. Durante el verano predominan olas constructivas que favorecen el movimiento del material hacia la playa haciendo el perfil más inclinado.

¿Cómo se afectan las playas con el paso de huracanes y tormentas?

Las playas cambian de forma como respuesta a la alta energía de las olas generadas por estos fenómenos (Fig. 5.6). Esta energía mueve la arena causando que la playa se aplane o que se formen barreras de arena costeras. Luego de un tiempo, si no hay interrupción, la forma de la playa (en términos del aplanamiento y las barreras) puede regresar a ser como era antes del huracán o tormenta.

¿Cuántos sectores tienen una playa?

La playa se subdivide en varios sectores dependiendo del patrón en la distribución, frecuencia y fuerza del oleaje y las mareas (Fig. 5.7). Por ejemplo, las olas definen la **zona de rompiente**, la **zona de barrida** (estrán), **bermas**, **berma de tempestad** y **terrazas**. La marea alta y baja definen el **litoral**, **sublitoral** y **supralitoral**. Luego del paso de tormentas se define una **zona de arribazones**. La presencia de oxígeno en el sustrato arenoso define una **capa aeróbica** y la ausencia de oxígeno define una **capa anaeróbica** (Fig. 5.8).

¿Qué es la zona de rompiente?

La zona de rompiente es la franja donde rompen las olas.

¿Qué es la zona de barrida o estrán (swash zone)?

La zona de barrida o estrán es la zona en la playa por la cual corre la ola entre subida y bajada una vez llega a la orilla. Es la zona donde ocurre el remonte de las olas.

¿Qué es una berma?

Una berma es una plataforma más o menos plana que se forma en el punto más alto de la barrida normal. La berma tiene dos crestas, una cresta baja y otra cresta alta que la define (Fig. 5.7).

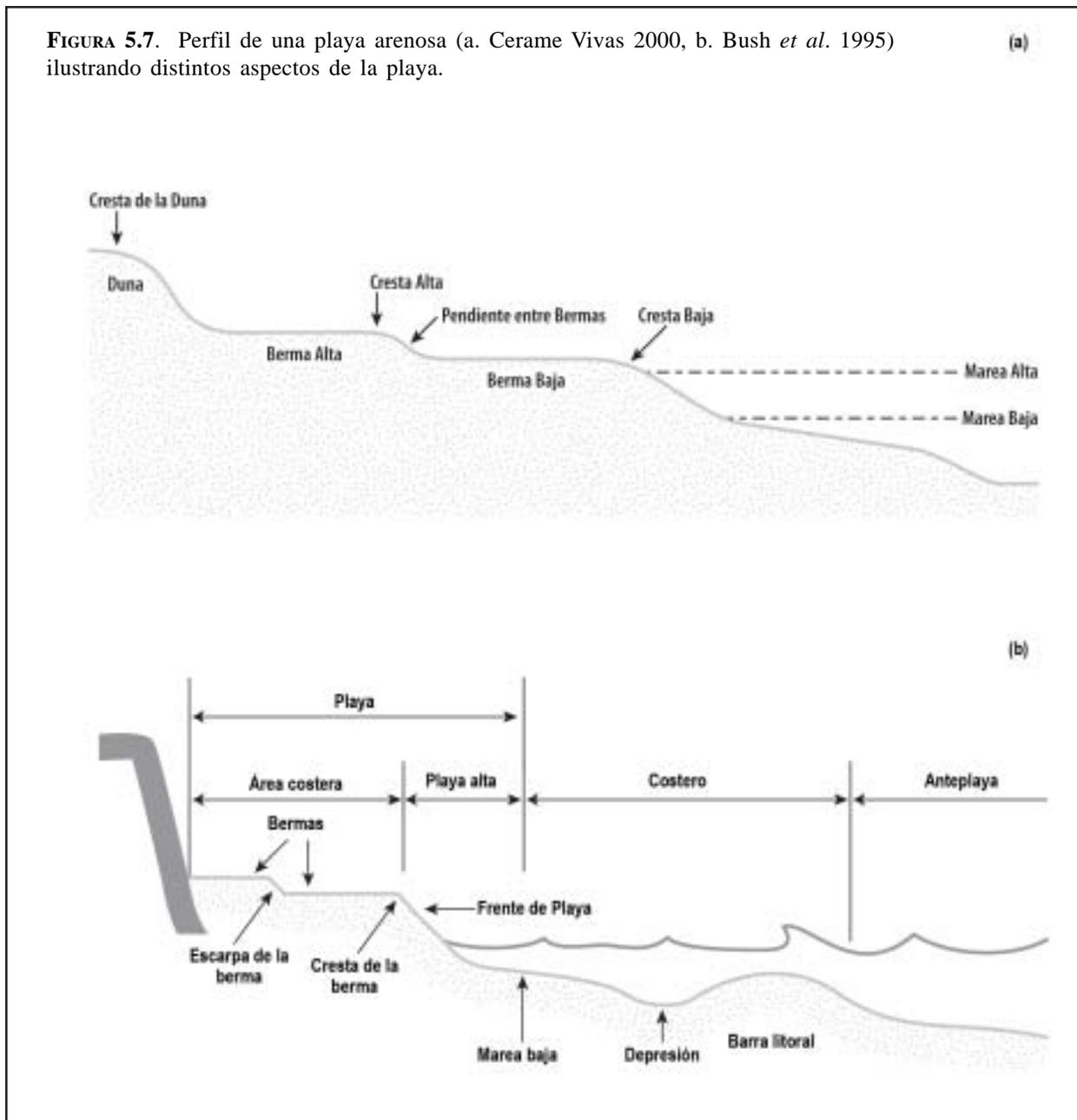
¿Qué es la berma de tempestad?

La berma de tempestad es una berma que se forma con las tormentas y marejadas violentas. Esta berma está hacia el interior de la berma que se forma por el oleaje normal.

¿Qué es una terraza o playa alta?

Una terrazza o playa alta es la parte plana de la playa que se extiende entre el talud de la duna de arena y la cresta de la barrida de la berma normal. Es donde las dunas de arena y la vegetación se encuentran.

FIGURA 5.7. Perfil de una playa arenosa (a. Cerame Vivas 2000, b. Bush *et al.* 1995) ilustrando distintos aspectos de la playa.



¿Qué es la zona litoral?

La zona litoral es la orilla del mar, generalmente la zona que cubre o expone las mareas.

¿Qué es un lago?

Un lago es un cuerpo de agua dulce permanente rodeado por tierra con o sin conexión al mar. En Puerto Rico no hay lagos naturales, pero los embalses son lagos artificiales.

¿Qué es agua dulce?

El agua dulce es agua sin sal, agua que no es salada. Son aguas cuyas concentraciones de sales disueltas son menores de 0.5 partes por mil (0.05 por ciento).

¿Qué es una laguna?

Una laguna es un cuerpo de agua de poca profundidad, generalmente costanera y de

salinidad variable, aunque también las hay en el interior, en la zona caliza. Las lagunas costaneras son humedales y estuarios (vea a Lugo y García Martínó (1996) para más información). Las lagunas costeras se conocen como albuferas.

¿Qué es la zona sublitoral?

La zona sublitoral es todo lo que está bajo el nivel del litoral (por debajo de la marea).

¿Qué es la zona supralitoral?

La zona supralitoral es todo lo que está sobre el nivel del litoral que siempre se encuentra expuesto a la atmósfera (la zona donde no llega la marea alta o no es sensible la marea).

¿Qué es la zona de arribazones?

La zona de arribazones es la zona donde se acumula material procedente del mar (yerbas marinas, organismos, fragmentos de organismos, basura) luego de eventos de marejadas.

¿Qué es una capa aeróbica?

Una capa aeróbica es un volumen de sustrato oxigenado.

¿Qué es una capa anaeróbica?

Una capa anaeróbica es un volumen de sustrato sin oxígeno.

¿Cuál es la implicación de las capas aeróbicas y anaeróbicas?

La presencia o ausencia del oxígeno determina qué tipos de organismos pueden sobrevivir en ese sector de playa (hay organismos que viven en ausencia de oxígeno) y determina también el estado químico de los nutrientes en los suelos y aguas de la playa (Fig. 5.8).

OLAS

¿Qué es una ola?

Una ola es una oscilación en el nivel de un fluido. En el mar, una ola es la perturbación en el nivel del mar que transporta energía, pero no masa, de un punto a otro. La ola puede ser generada por cualquier cosa que disturbe la superficie del mar. Las olas son ondas que se desplazan por la superficie de mares y océanos puestas en marcha principalmente por el viento y son el principal agente modelador de la costa.

¿Cuántos tipos de olas hay?

Hay diferentes tipos de olas de acuerdo a la fuerza restauradora que genera la oscilación, pero la más común es la ola formada por el viento en donde es la gravedad la fuerza restauradora (Fig. 5.9).

¿Cómo se forman las olas de viento?

Cuando el viento sopla durante cierta distancia y tiempo sobre la superficie del mar se transfiere energía del viento al mar y esto pone en movimiento las olas de viento (Fig. 5.10).

¿Cuáles son las características comunes entre todas las olas?

Todas las olas (menos las olas solitarias) tienen una cresta, un valle, ancho, amplitud y periodo. La Fig. 5.11 define la cresta, el valle, ancho y amplitud de una ola.

¿Qué es el periodo de una ola?

El periodo de una ola es el tiempo que le toma a dos crestas o dos valles pasar por un punto fijo.

¿Cómo afecta el viento a las olas?

Mientras más fuerte el viento, más altas son las olas y más largo su periodo. Pero toda ola de cierto periodo tiene una altura máxima y cuando llega a esa altura, la ola rompe. Mientras más largo el periodo de las olas, con más velocidad se mueven.

FIGURA 5.8. Cambios químicos que ocurren en una playa de baja energía con lodos anaeróbicos (Thurman y Webber 1984). Generalmente la capa superior de la playa tiene oxígeno y las condiciones aeróbicas son conducentes a un potencial de Redox positivo, que quiere decir que las sustancias químicas están en sus estados oxidados. Por eso el hierro (Fe) es triple positivo y el nitrógeno está en estado de óxidos de nitrógeno. En la capa de interfase entre condiciones aeróbicas y anaeróbicas las condiciones pueden variar temporalmente. En la capa más profunda con condiciones anaeróbicas (sin oxígeno) el potencial de Redox es negativo, aparece el ácido H_2S que es un gas y es el que le da el olor peculiar a los humedales, el hierro se reduce a doble positivo y el nitrógeno aparece como amoníaco.

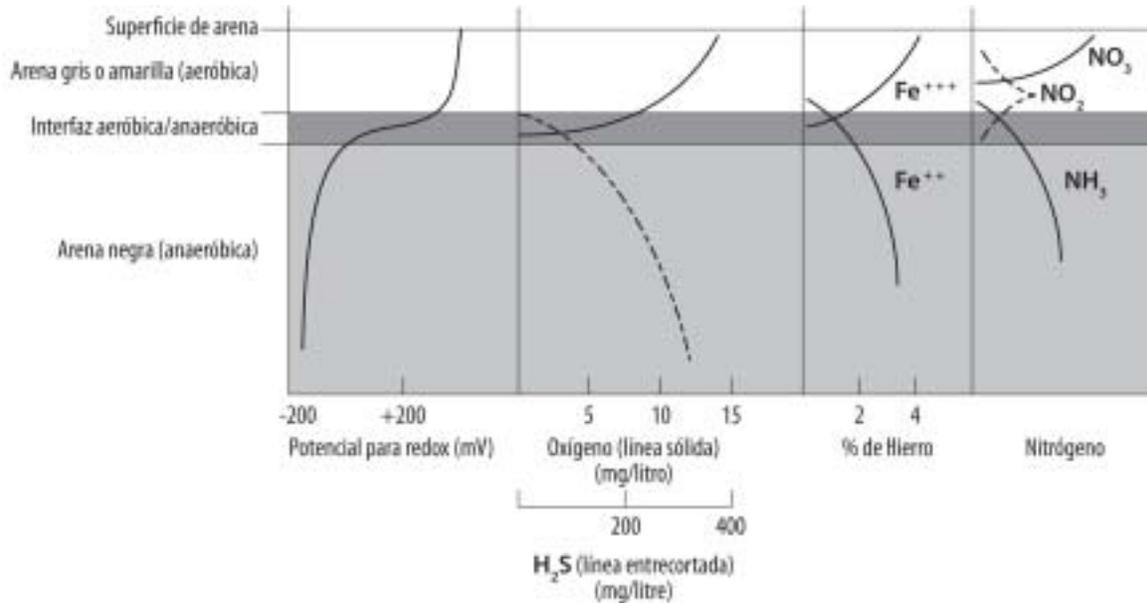
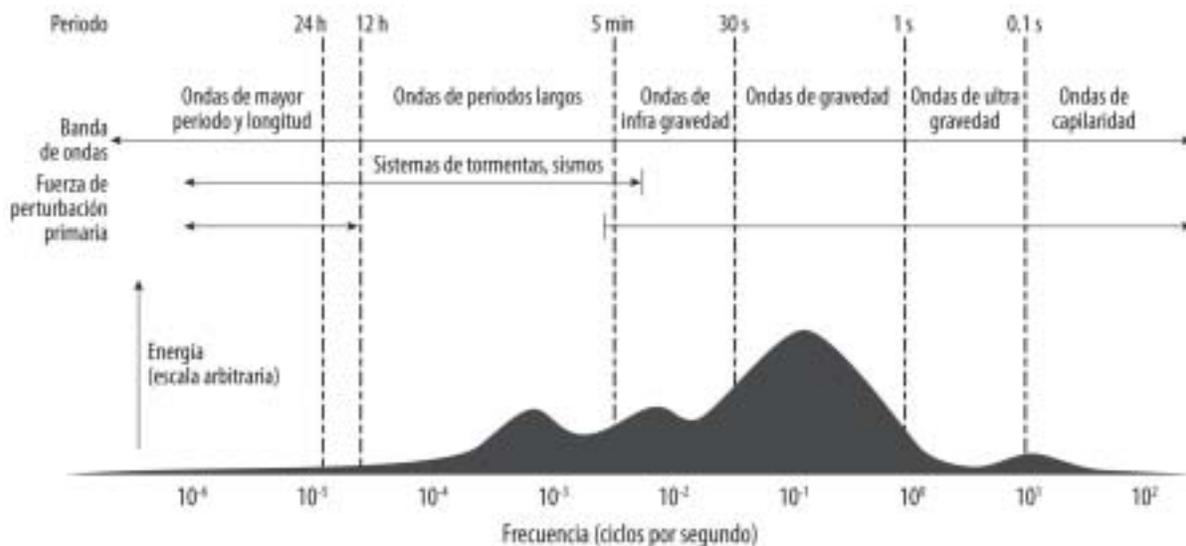
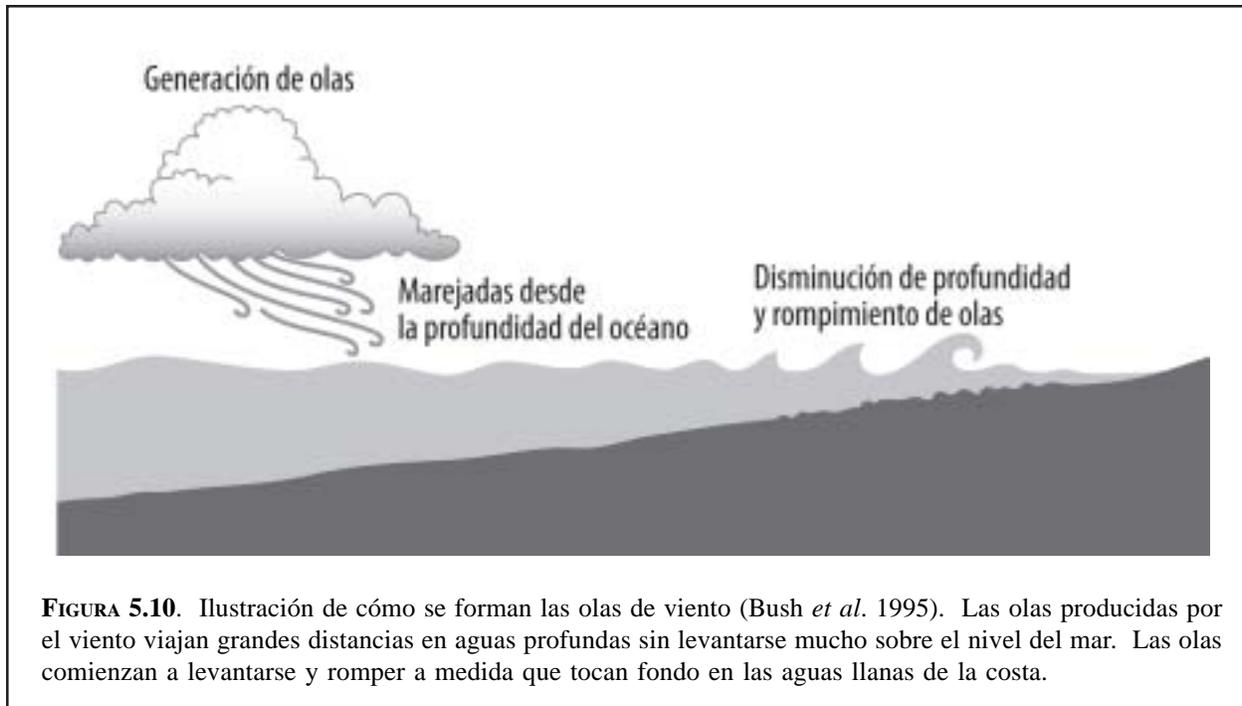


FIGURA 5.9. La diversidad de tipos de olas en base a su largo de onda y frecuencia. Se ilustra la fuerza principal que produce las olas, sus periodos y los tipos de ola (Drake *et al.* 1978). Las olas con mayor energía son las olas de gravedad producidas por el viento.





¿Qué otros disturbios crean olas?

Además del viento y las fuerzas astronómicas, las olas se pueden formar como resultado de tormentas o huracanes, temblores de tierra en el fondo del mar o derrumbes submarinos que desplazan enormes cantidades de agua que forman olas gigantescas conocidas como tsunamis o maremoto.

¿Qué experiencia hay en Puerto Rico con tsunamis?

Durante el terremoto de 1918 (magnitud 7.5 en la escala Richter) se produjo un maremoto cuya ola alcanzó 6 metros de altura en el noroeste de Puerto Rico. En Aguadilla murieron 32 personas y se destruyeron cerca de 300 viviendas ubicadas cerca de la playa. El maremoto ocurrió pocos minutos después del terremoto. Antes del mismo, el mar retrocedió decenas de metros para luego penetrar más de 120 metros en algunos lugares bajos. El 18 de noviembre de 1867, veinte días después de la devastación de la Isla por el huracán San Narciso, ocurrió un fuerte terremoto con magnitud aproximada de 7.5. Su epicentro fue localizado en el Pasaje de Anegada entre Puerto Rico y la Isla de Santa Cruz. El

terremoto produjo un maremoto que penetró casi 150 metros en las partes bajas de la costa de Yabucoa. En Santa Cruz la ola alcanzó una altura de 7.6 metros y en Carlota Amalia (*St. Thomas*) entre 4.5 y 6 metros.

¿Cómo se mide la velocidad (celeridad) de una ola?

La velocidad de una ola o su velocidad de translación (celeridad) es la distancia (metros) que se desplaza la cresta de la ola dividida entre el tiempo (segundos) que le tomó desplazarse esa distancia. La velocidad se mide en unidades de distancia por tiempo (metros por segundo). La longitud de la ola y su celeridad disminuyen considerablemente según la ola se acerca al litoral. La velocidad de propagación de las olas cortas es notablemente inferior a la de las olas largas. Los tsunamis que se propagan en aguas profundas alcanzan velocidades de más de 500 km/hr (la velocidad a que viaja un avión tipo jet). Una vez un tsunami penetra tierra adentro, debido a que la densidad del agua es mil veces más grande que la del aire, el chorro de agua producido por el mismo puede derribar paredes de concreto que no estén bien diseñadas. Por ejemplo, un chorro de agua moviéndose a solo

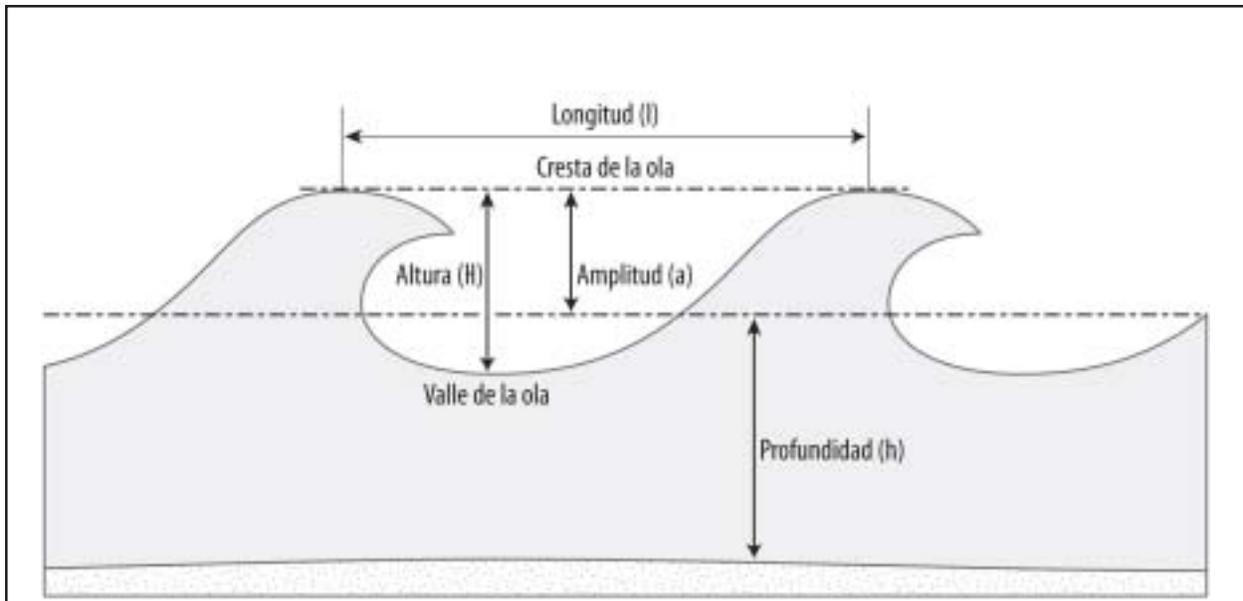
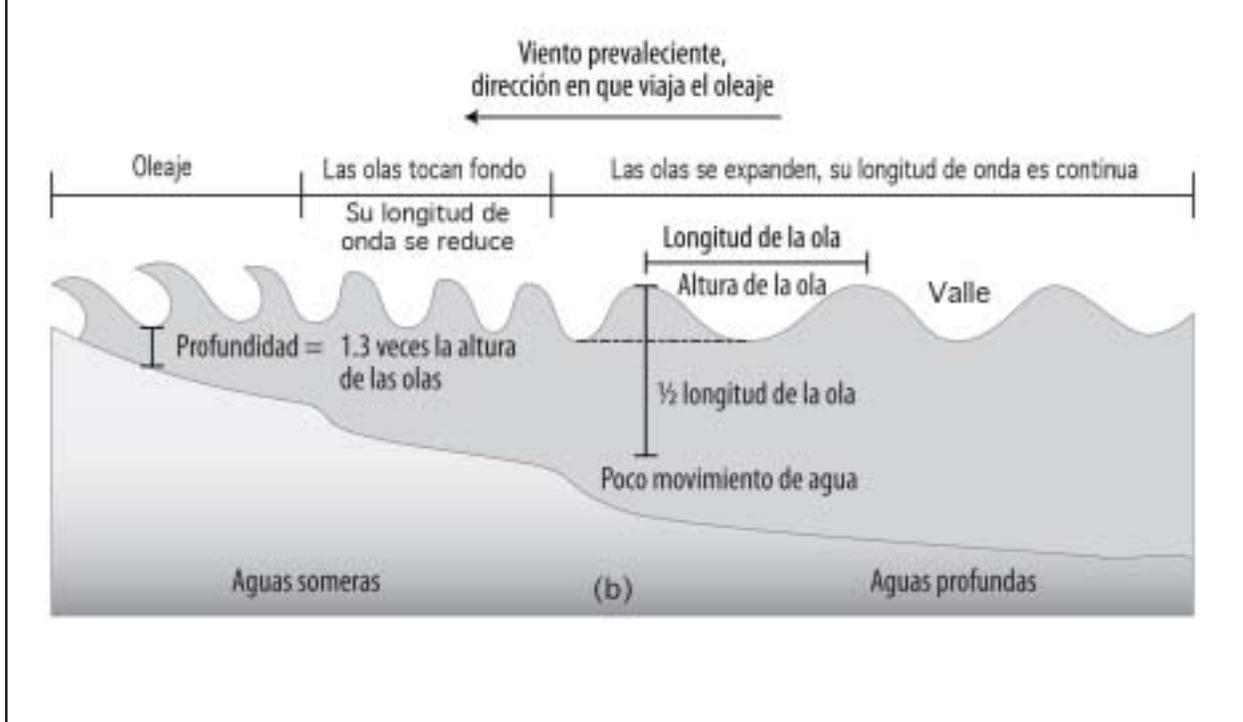


FIGURA 5.11. Términos que definen una ola. La altura (H) de la ola es dos veces su amplitud. La amplitud (a) es la distancia entre la cresta y el nivel del agua muerta del mar. Generalmente la altura de la ola es la diferencia entre la cresta y el valle. La distancia entre dos crestas consecutivas es el largo o longitud (l) de la ola. El nivel del agua muerta del mar es la línea entrecortada y la distancia de este punto al fondo del mar es la profundidad (h). (b) Ilustración de la relación entre el tamaño de las olas y el fondo del mar.



8.0 km/hr genera una fuerza contra una pared equivalente a la de vientos de 257 km/hr. ¡Un huracán de Categoría 5 en la escala Zaffir-Simpson!

¿Se desplaza el agua a medida que una ola se mueve por el océano?

No, a primera aproximación el agua no se desplaza a medida que una ola se mueve por el océano. Durante el paso de una ola lo que se propaga es la energía de la misma (Fig. 5.12). Las partículas de agua, en general, describen una elipse en el plano vertical según pasa la ola. Sin embargo, el agua se desplaza al romper la ola.

¿Cómo afecta la profundidad del mar el comportamiento de la ola?

En el mar profundo la velocidad de las olas es proporcional a su largo de onda. En aguas llanas la profundidad del mar controla la velocidad de las olas. Las olas pierden velocidad cuando disminuye la profundidad del agua. Una vez el largo de onda de la ola es aproximadamente igual a un veinteavo de la profundidad, ocurre una transición donde la velocidad de la ola está dada por la raíz cuadrada del producto de la aceleración de la gravedad por la profundidad. Cuando esto ocurre, mientras menos profundo se hace, menor es la velocidad de la ola.

¿Cuándo rompe la ola?

En aguas llanas una ola de altura (donde altura está representada por la letra H) tiende a romper cuando la profundidad se hace aproximadamente $1.4H$. Por ejemplo, una ola de tres metros de altura rompe a 4.2 metros de profundidad. Se reconocen varios tipos de rompientes de las olas, aunque en la práctica los tipos de rompiente ocurren en una gradación continua por lo cual se hace difícil categorizarla. 1) Rompiente en caída o derramamiento (*spilling breaker*), en la cual una masa de agua avanza en forma de oleaje en un manto burbujeante de espuma. 2) Rompiente de vuelco o inmersión (*plunging breaker*) donde el frente de la ola se hace tan

abrupto que la ola se torna inestable y queda colgada hasta que rompe con gran violencia (los tubos de los *surfers*). Entre estos dos grandes tipos, ocurren variedades intermedias de acuerdo con la naturaleza de la costa y la pendiente submarina. 3) Rotura de impulso o ondulada (*surging breaker*). La pendiente (igual a H/L , donde H es la altura de la ola y L su largo de onda) de las olas incidentes y la inclinación del fondo determinan el tipo de rotura. La rotura de caída y de inmersión generan fuertes presiones impulsivas y remonte de agua, y están asociadas a olas destructivas y reconfiguración del perfil de la playa.

¿Cuál es la relación entre la profundidad del mar y las dimensiones de las olas?

Las olas se catalogan en relación a la profundidad del mar como olas de agua profunda, de aguas intermedias y olas de agua llana. Se llaman olas de agua profunda cuando h/L es mayor de 0.5, donde h es la profundidad y L es el largo de onda. Se llaman olas de agua llana cuando h/L es menor de $1/20$. Entre estos dos extremos se llaman olas de agua intermedia. En aguas profundas la teoría predice que las olas rompen cuando la razón H/L sobrepasa $1/7$. En aguas llanas una ola de altura H tiende a romper cuando la razón H/h varía entre 0.6 y 0.8.

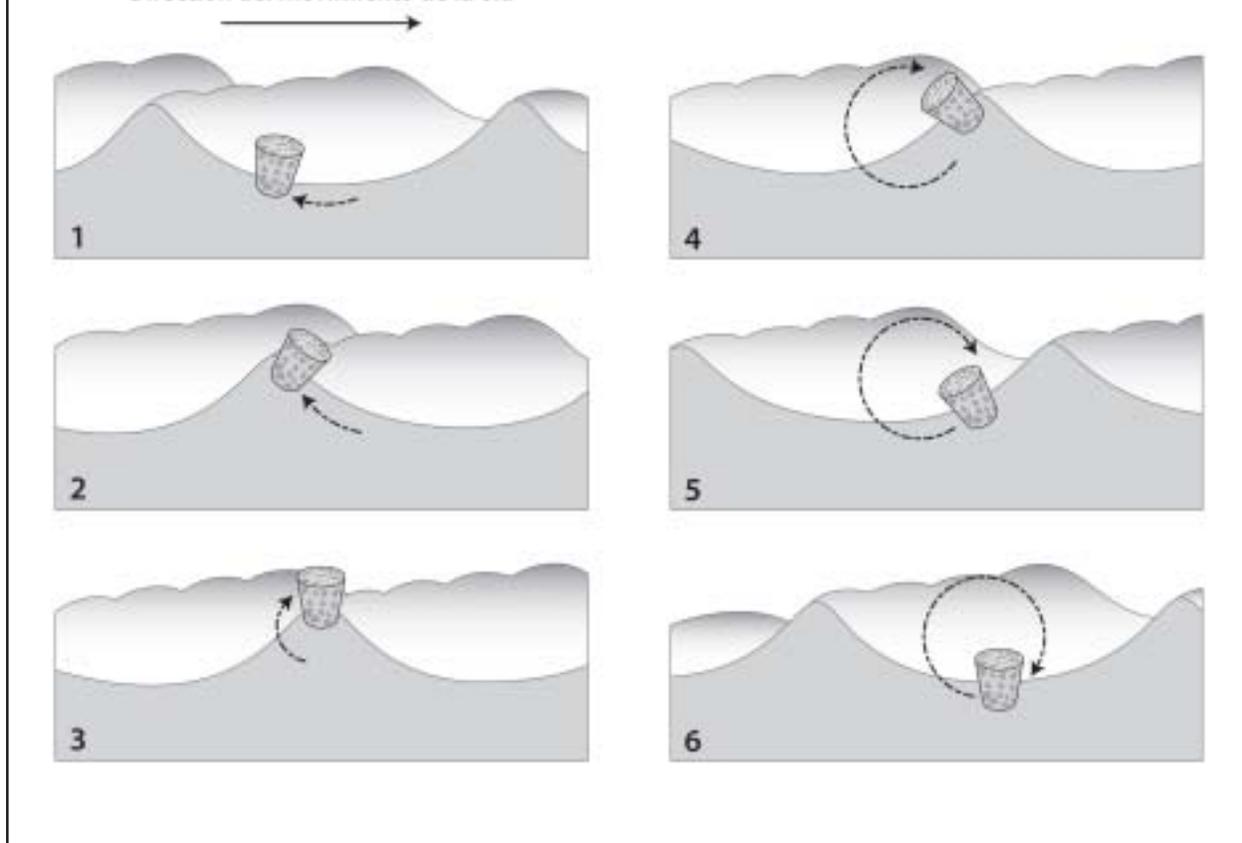
¿Cómo se calcula la energía de una ola?

La energía de una ola se calcula como proporcional al cuadrado de su altura. Una ola de 3 metros tiene 2.25 veces más energía que una ola de 2 metros: $3^2/2^2 = 9/4 = 2.25$.

¿Cuánta es la energía disipada por el mar sobre la zona marítimo-terrestre?

La energía de las olas depende en parte del cuadrado de su altura (detalle en el Recuadro 1). La presión ejercida sobre una estructura es en el orden de toneladas por metro cuadrado pero puede aumentar a decenas de toneladas por metro cuadrado durante las tormentas más fuertes. La presión de las olas varía al igual que la energía con el cuadrado de

FIGURA 5.12. Diagrama ilustrativo de cómo se propaga una ola sin desplazar el líquido por el cual progresa (Nybakken 2001). Cuando la ola pasa, el corcho forma un círculo imaginario reflejando el paso de la ola, pero el corcho está estacionario y no avanza ni retrocede.



la altura. Una ola de tres metros de alto puede ejercer más de mil (1,000) libras de presión por pie cuadrado o más de $4,878 \text{ kg/m}^2$ (Bush *et al.* 1995).

¿Dónde se concentra la energía de las olas en relación a la costa?

En una costa de forma irregular, como es el caso de Puerto Rico, la energía se concentra en los cabos o puntas (*headlands*) y se dispersa en las bahías abiertas (Bush *et al.* 1995). Esto se debe a que la concentración de energía de las olas depende mucho de la forma de la costa (Fig. 5.13). Variaciones en la profundidad del fondo refractan las olas de suerte que ésta no rompen paralelas con la costa sino en un ángulo.

¿Cuál es la relación entre la forma de la costa y el impacto de una ola en la misma?

El impacto de la ola sobre la costa depende mucho de la forma de la misma. Mientras más plana la costa, más se disipa la energía de la ola y menor el impacto; mientras más empinada la costa más se concentra la energía de la ola y mayor el impacto.

¿Difiere la energía de las olas durante el año?

Sí. La energía de las olas difiere durante el año, causando así cambios estacionales en la forma de la playa (Fig. 5.6).

RECUADRO 1. ¿Cuánta energía disipa una ola que rompe sobre la playa?

Una ola de 1 metro de alto (3 pies), un periodo de 8 segundos y un largo de onda de 10 metros (30 pies) disipa 9,017 joules por metro lineal de playa por segundo.

Si la ola es de 5 metros de alto (15 pies) con el mismo periodo y largo de onda, disiparía 225,425 joules por metro lineal de playa por segundo.

O sea, la ola aumentó en altura por un factor de 5 veces, pero la energía que disipó sobre la costa aumentó por un factor de 25 veces. Expresado en la capacidad del oleaje para acelerar masa a un metro por segundo por segundo, la ola de 1 metro tiene la capacidad de acelerar 9 toneladas métricas de masa por pie de playa por segundo y la de 5 metros puede acelerar 225 toneladas métricas por pie de playa por segundo. Ante la magnitud de esta energía es muy difícil que haya estructura alguna que pueda sostener este embate por mucho tiempo.

¿Cómo se calcula la energía que disipa una ola al romper? Se utiliza la siguiente ecuación (Dean y Dalrymple 1991), sustituyendo los parametros de la ola en la misma:

$$F = \left(\frac{1}{8} \rho g H^2 \right) \left(\frac{L}{T} \right) \left[\frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi h / L}{\sinh(4\pi h / L)} \right) \right]$$

En el sistema métrico F está dado en joules/segundo por metro de playa. Un joule por segundo se define como un vatio. Así que F se mide en vatios (o potencia) por metro de playa. El flujo de energía (F) asociado con una ola de altura H (metros), periodo T (segundos), largo de onda L (metros), propagándose en una profundidad h (metros), (donde ρ = densidad del agua, g = aceleración de la gravedad, $\sinh(x)$ significa el seno hiperbólico de x , $p = 3.14$).

El **joule (J)** es la unidad del Sistema Internacional para energía y trabajo. Se define como el trabajo realizado por la fuerza de 1 newton en un desplazamiento de 1 metro y toma su nombre en honor al físico James Prescott Joule.

Equivalencias:

- 1 joule (J) = 1 newton metro (Nm)
- 1 vatio (W) = energía por unidad de tiempo = *Power* = 1 joule por segundo (J/s) = 14.34 calorías por minuto (cal/min)
- 1 kilovatio hora (kWh) = 3.6×10^6 joules (J)
- 1 vatio-hora = 3,600 joules.
- 1 joule = 0.24 calorías (no confundir con kcal = Calorías).
- 1 caloría termoquímica (cal_m) = 4.184 J
- 1 tonelada equivalente de petróleo = 41,840,000,000 joules = 11,622 kilovatio hora.
- 1 tonelada equivalente de carbón = 29,300,000,000 joules = 8,138.9 kilovatio hora.

Algunos resultados sustituyendo números típicos:

Parámetros de la ola (H, T, h)	Energía Disipada Expresada en Tres Unidades Distintas (todas por metro lineal de playa por segundo)		
	joules	calorías	kilovatios
1, 8, 10	9,017	2,164	9.017
1, 6, 10	7,038	1,689	7.036
5, 8, 10	225,425	54,102	225.425
5, 11, 10	262,678	63,043	262.678

Un poco más de teoría:

Se utilizó la teoría lineal de olas. Si se utiliza teoría no lineal los resultados pueden variar un poco.

La energía total (\ddot{E}) de un sistema de olas es la suma de la energía cinética y la energía potencial.

La energía cinética se debe al movimiento inducido en las partículas del agua según pasa la ola. La energía potencial se debe a la altura de la ola sobre el valle, ej., la cresta de la ola.

De acuerdo a la teoría de Airy (teoría lineal) para un sistema no disipativo, la energía potencial y la cinética son iguales, entonces la energía total de la olas en un largo de onda por unidad de ancho de la cresta es igual a:

$$\ddot{E} = E_k + E_p = \Delta g(H^2)L/16 + \Delta g(H^2)L/16 = \Delta g(H^2)L/8 \dots\dots\dots(\text{Eq 1})$$

Donde los subscripts k y p se refieren a la energía cinética y potencial, respectivamente. H = altura de la ola, L = su largo de onda, g = aceleración de la gravedad, D = densidad del agua.

La energía total de la ola por unidad de superficie, conocida como la energía específica o densidad energética se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\ddot{E} = E/L = \Delta g(H^2)/8 \dots\dots\dots(\text{Eq 2})$$

El flujo de la energía de las olas es la tasa a la cual la energía se transmite en la dirección por la cual se propaga la ola a través de un plano vertical perpendicular a la dirección por la cual avanza la ola, extendiéndose en toda su profundidad. El flujo de energía promedio por unidad de ancho de cresta de ola transmitido a través del plano vertical perpendicular al avance de la ola, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$F = \ddot{E}nC = \ddot{E}Cg \dots\dots\dots(\text{Eq 3})$$

El flujo energético, F, se conoce como la potencia, C = velocidad de fase, Cg = velocidad de grupo, n = $\frac{1}{2} \{1 + (4Bh/L)/\sinh(4Bh/L)\}$, h = profundidad del agua.

Si se utiliza un plano vertical que no sea el perpendicular a la dirección del avance de las olas, entonces: P = E Cg sin f, donde f es el ángulo entre el plano por el cual la energía se está transmitiendo y la dirección del avance de las olas.

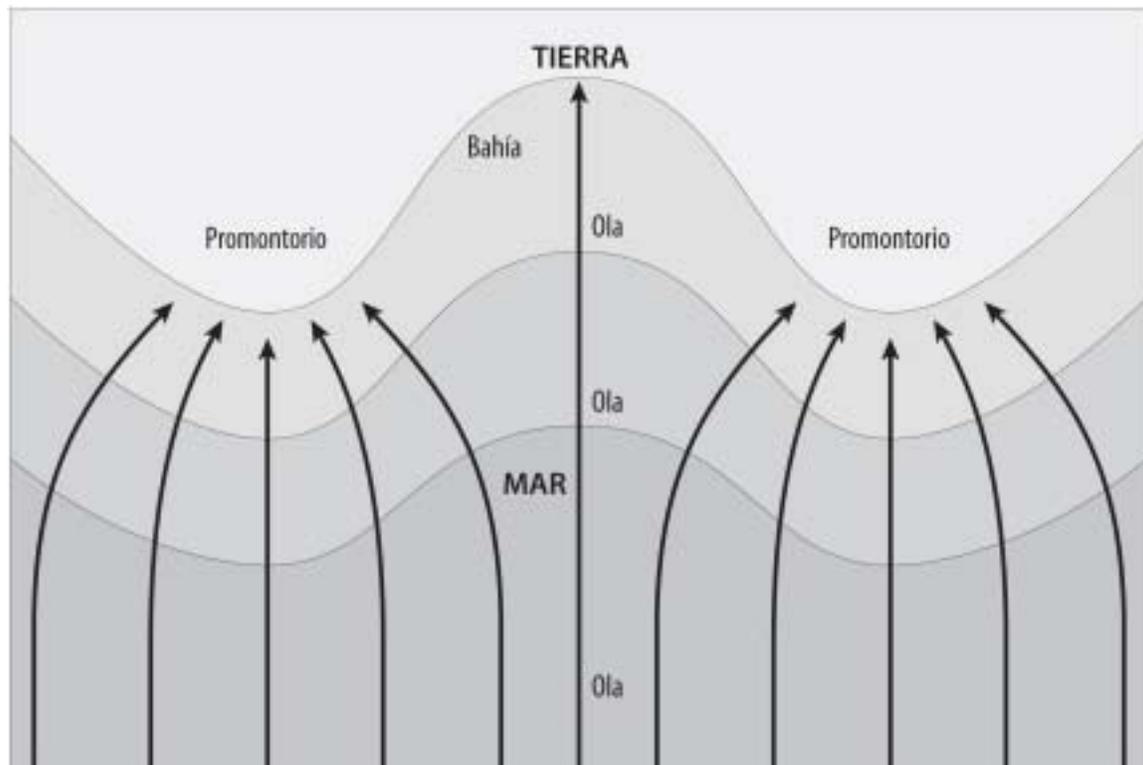
Para agua profunda y llana, la ecuación (3) se torna en:

$$F = F_o = \frac{1}{2} \ddot{E}_o C_o \dots\dots\dots(\text{Eq 4})$$

$$F = \ddot{E}Cg = \ddot{E}C \dots\dots\dots(\text{Eq 5})$$

donde se ha utilizado el hecho de que para aguas profundas la velocidad de fase, C, es igual a un medio de la velocidad de grupo (= $\frac{1}{2}$ Cg), y se utiliza el subscrito (o) para denotar que estamos en aguas profundas. Para aguas llanas la velocidad de fase, C, es igual a la velocidad de grupo (= Cg).

FIGURA 5.13. Concentración de energía de una ola en relación al tipo de costa (Voigt 1998). La energía de los oleajes se concentra en los puntos protuberantes de la costa y se diluyen en las bahías.



¿Qué es el remonte (runup) de una ola?

El remonte o runup de una ola es el proceso cuando la ola rompe en la orilla y una lámina de agua trepa playa arriba (Fig. 5.14). El remonte está relacionado con razón de la pendiente de la playa a la raíz cuadrada de la pendiente de la ola (*wave steepness*), lo que se conoce como el parámetro de similitud de la zona de rompientes (*surf similarity parameter*) y también como el número de Iribarren.

¿Qué es una ola de temporal?

Una ola de temporal es la ola asociada al paso de una tormenta, incluso el paso de un huracán. Las olas de tormenta se caracterizan por gran altura y largo periodo.

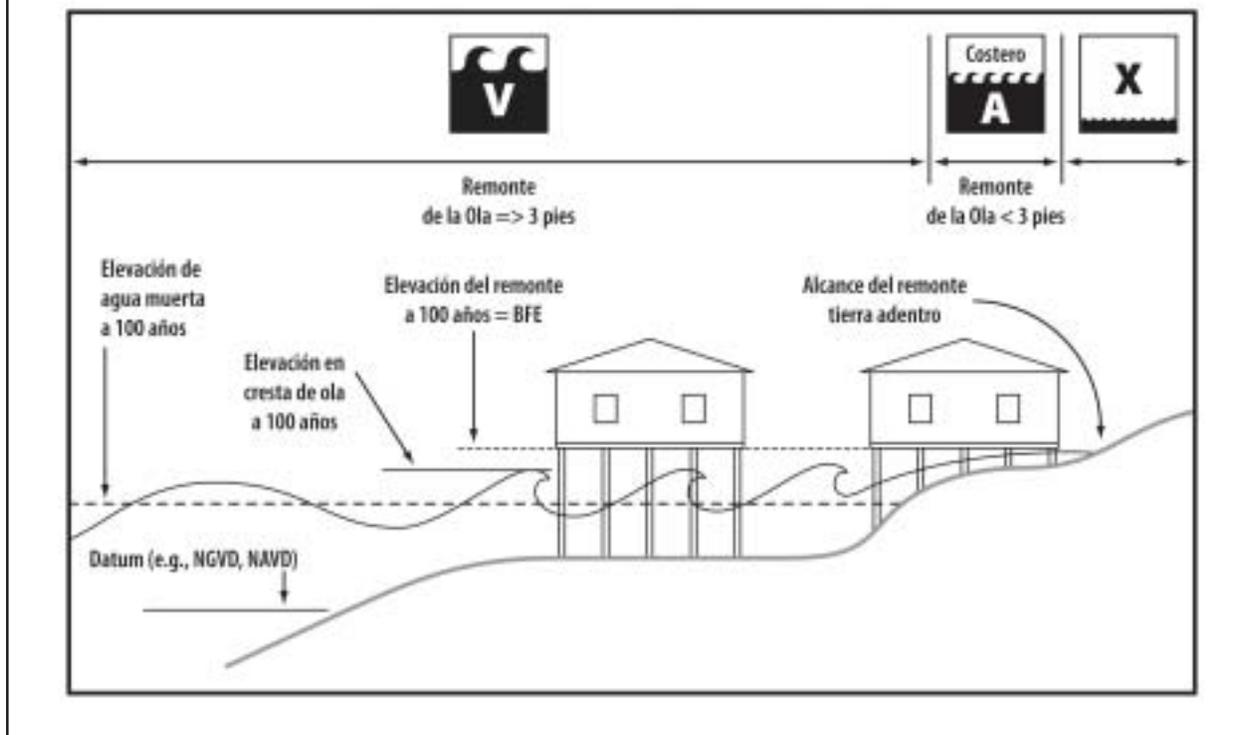
¿Qué es un tsunami?

Un tsunami es una ola producida por un terremoto en el fondo del mar, o por cualquier otro efecto, cuyo largo de onda es mucho más que la mayor profundidad oceánica. Por ende, los tsunamis son olas de agua llana, aún en mar profundo. En aguas profundas son de pequeña altura, pero según se acercan a las costas su altura crece enormemente. Un tsunami puede manifestarse en todos los océanos y cruzarlos de un extremo a otro, como el del Océano Índico en el 2004.

¿Qué es una marejada (swell)?

Una marejada o bravata es el oleaje producido por una tormenta una vez el oleaje se ha alejado del área de vientos fuertes de la tormenta. Esta

FIGURA 5.14. Ilustración de la penetración tierra adentro del remonte (*runup*) de una ola de 100 años y 3 pies (un metro) de altura. Nótese que la ola se propaga sobre el nivel de los 100 años del agua muerta, que está sobre el nivel normal del mar (el *Datum*). Las letras V, A y X representan zonas de inundación de la agencia federal *Federal Emergency Management Agency* (ver texto).



tormenta puede haber pasado cerca, o bien haberse formado y disipado lejos de la costa. La intensidad de la tormenta puede variar ampliamente (Tabla 4.1). En el mar profundo estas olas son de poca altura, pero con periodos largos.

¿Qué es una marejada ciclónica?

La marejada ciclónica (Fig. 5.15) es el aumento anómalo en el nivel cuasi-estático del mar que ocurre debido al paso de un huracán, aumento inducido por la presión atmosférica baja en el ojo del huracán (conocido como el fenómeno del barómetro invertido o *pressure setup*), por la acumulación de agua contra la costa debido al viento (*wind setup*) y al rompimiento de las olas (*wave setup*). Es lo que se llama el nivel de agua muerta (*stillwater level*) que se observa dentro de edificios y medidos por **mareógrafos**. La marejada sube el nivel del mar por encima de la marea astronómica.

¿Qué es el nivel de agua muerta?

El **nivel de agua muerta** es la medida de la altura del agua sin tomar en consideración las olas. En el caso de una marejada ciclónica, es este nivel el que mediría un mareógrafo que estuviera en el lugar siendo impactado. Se puede ver a simple vista como la marca en la pared interior de una estructura donde entró el agua con puertas y ventanas cerradas, esto es, donde el efecto de las olas se ha eliminado. Las olas corren sobre el nivel de agua muerta y ahora pueden penetrar más tierra adentro debido al desplazamiento de la orilla por el agua muerta.

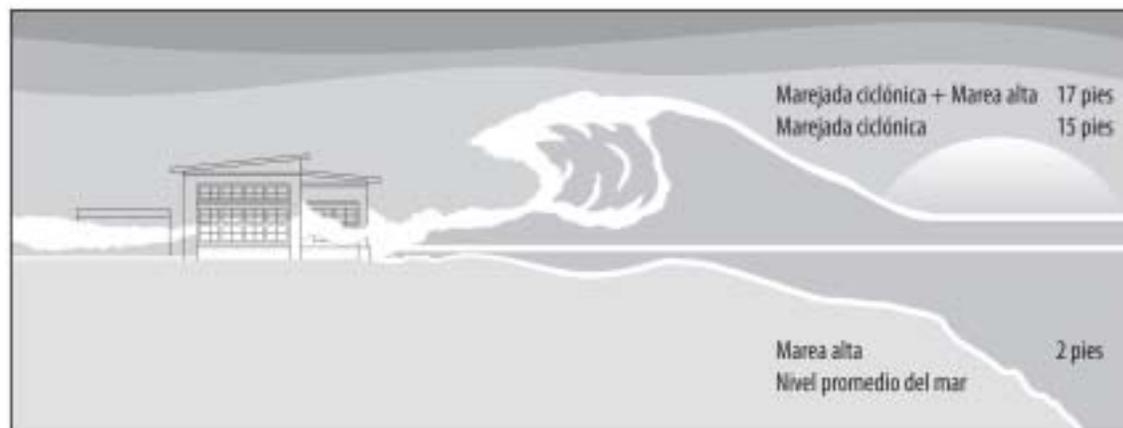
¿Cómo se mide la marejada ciclónica?

La medida de la marejada ciclónica está dada por el nivel del agua muerta por encima del **nivel promedio del mar**. En los **mapas de inundación** se utiliza el término **inundación base** para referirse a la altura sobre el nivel

TABLA 4.1. Escala de intensidad de huracanes de acuerdo a la escala Saffir-Simpson. Un temporal tiene velocidades menores a lo indicado para la categoría 1. Las unidades de velocidad son millas por hora y kilómetros por hora.

Categoría del Huracán	Velocidad del Viento (mph) / (kph)	Marejada Ciclónica (pies) / (metros)
1	74-95 / 199-153	4-5 / 1.2-1.5
2	96-110 / 154-177	6-8 / 1.8-2.4
3	111-130 / 178-209	9-12 / 2.7-3.7
4	131-155 / 211-249	13-18 / 3.9-5.5
5	> 155 / > 249	> 18 / > 5.5

FIGURA 5.15. Ilustración de una marejada ciclónica propagándose sobre el nivel promedio del mar. Nótese que en este ejemplo la marea alta está dos pies (0.61 metros) sobre el nivel promedio del mar; la marejada ciclónica está a 15 pies (4.57 metros) sobre el nivel promedio del mar; la marea alta durante la marejada ciclónica está a 17 pies (5.18 metros) sobre el nivel promedio del mar y sobre esta marea alta es que se mueven las olas a elevaciones aún mayores. Las elevaciones de las mareas y olas son ilustrativas ya que varían con la intensidad del evento.



promedio del mar a la cual llega la cresta de la ola más grande que puede propagarse por encima de la inundación de agua muerta con periodo de recurrencia de 100 años. Durante el huracán Katrina en Nueva Orleans la marejada ciclónica subió el nivel del mar 10 metros (32.8 pies).

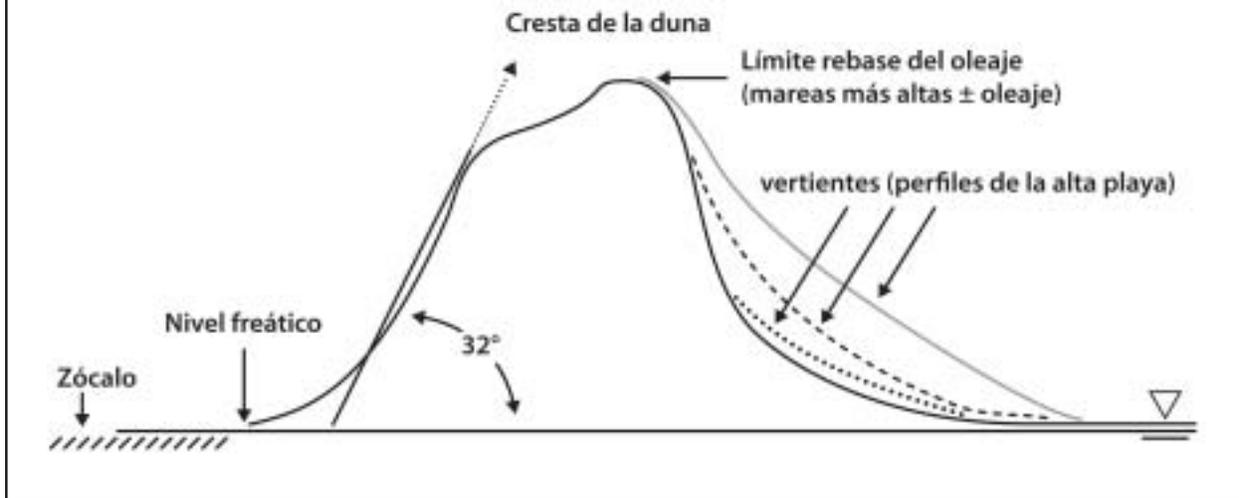
¿Dónde rompen las olas durante una marejada ciclónica?

Las olas de la marejada ciclónica son capaces de penetrar tierra adentro y romper directamente contra estructuras que se encuentren dentro de la zona inundable.

¿Qué es el tidal bore (barra de agua, mascaret o bora)?

El *tidal bore o bora* se mueve río arriba de forma masiva y en forma de pared; en algunos casos luego de ser detenida por algún tiempo por la barra de arena en la desembocadura del río. La corriente entrante puede alcanzar 10 **nudos**. Una bora o barra de agua es una brusca pleamar o marea de frente abrupto que ocurre acompañada de una ola rompiente. Es un fenómeno característico de estuarios poco profundos y costas donde la amplitud de la marea es grande. En el Amazonas la *pororoca* es una ola que

FIGURA 5.16. Perfil de una duna (playa alta y playa) de arena y sus características más importantes desde el punto de vista de su estructura. Este sistema es un reservorio de arena, y se ajusta al oleaje imperante. Actúa como disipador de energía que impide el rebase.



alcanza de 5 a 6 metros y en su avance causa muchos estragos y erosión en las orillas.

¿Qué es un nudo?

En el mar y el aire, la velocidad se mide en nudos. Un nudo es una milla náutica por hora. Una milla náutica es equivalente a 1.853 kilómetros o 1.15 millas.

¿Qué relación hay entre la descarga de los ríos al mar y la entrada de las marejadas?

En general, no hay relación alguna. Pero si la marejada ciclónica ocurre cuando el río tiene una descarga grande entonces se debe esperar que la marejada ciclónica aumente su nivel. Y a la misma vez, el nivel del río también debe aumentar cerca de su desembocadura. Esto en parte responde a que cuando un tren de olas se propaga en contra de un chorro de agua (la descarga del río) el largo de onda de las olas tiende a disminuir, haciendo que la razón de altura de la ola al largo de onda aumente hasta que la ola rompe. Al romper la ola se acumula agua en el lugar y esto tiende a subir el nivel del mar. Por otro lado, el nivel de inundación del río también aumenta pues la descarga del río se represa al chocar con el nivel del mar.

*¿Se considera el efecto de la descarga del río sobre la marejada y vice versa en los **mapas de inundación de la Agencia Federal sobre Manejo de Emergencias** (Federal Emergency Management Agency o **FEMA** por su siglas en inglés)?*

El efecto que tiene la marejada ciclónica en un río se toma en consideración cuando se estima la inundación producida por el río. Pero, en general, el efecto de la descarga de un río en la marejada ciclónica, cerca de la desembocadura al mar del río, no se toma en consideración.

¿Consideran este efecto la Junta de Planificación y otras agencias reguladoras en Puerto Rico al expedir permisos de construcción cerca de las desembocaduras de los ríos?

No, el efecto del río en la marejada ciclónica no se considera por las agencias reguladoras en Puerto Rico al expedir permisos de construcción o desarrollo.

DUNAS DE ARENA

¿Qué es una duna de arena?

Una duna de arena o médano es una acumulación de arenas aportadas por el viento (Fig. 5.16). Las dunas de arena se forman a lo largo de costas

bajas y arenosas donde el viento predominante sopla del mar y perpendicular a la orilla (ya que un viento así es menos frenado y es más eficaz moviendo arena), y la arena de la playa es acarreada hacia tierra amontonándose y formando dunas de arena. Las dunas de arena a lo largo de la costa norte de Puerto Rico alcanzaban alturas de más de 15 metros, formando un baluarte natural contra el oleaje por su altura y capacidad o volumen del reservorio. Las dunas de arena tienen un perfil asimétrico con una pendiente suave en el lado hacia el viento (lado de barlovento) y una pendiente escarpada en el lado protegido del viento (sotavento) que corresponde al perfil de equilibrio de derrumbamiento de la arena (unos 32°). Cuando no están estabilizadas, el acarreo de arena por el viento del frente a la parte trasera hace que la duna de arena avance tierra adentro. [Nota editorial: sólo definimos las dunas de arena de áreas costeras, en otros lugares se forman dunas de arena lejos del mar].

¿Cómo se forma una duna de arena?

Una duna de arena se forma por la acumulación de arena fina transportada por el viento desde la playa alta. La vegetación u otras estructuras como las verjas interceptan el movimiento de arena y promueven su acumulación como duna de arena. Como resultado de la deflación eólica las dunas de arena necesitan ser permanentemente alimentadas con nuevos aportes de arena que vienen de la alta playa y del suministro de arena acarreada por las olas hacia el estrán.

¿Cuál es el origen de la arena de las dunas de arena?

La corriente marina costera redistribuye continuamente la arena supliendo a la playa y a las dunas de arena. Esa arena puede originarse de depósitos de arena mar afuera o del carbonato de calcio depositado por arrecifes de coral, algas marinas y otros organismos marinos. Sin embargo, la mayor porción de la arena surge de la erosión de las montañas y el transporte por ríos y quebradas a la zona costanera.

¿Cuántos sectores tiene una duna de arena?

Las dunas de arena se pueden segmentar en múltiples sectores dependiendo del criterio utilizado, ej., vegetación, microclima o topografía. En términos generales, las dunas de arena quedan sobre el nivel de las mareas más altas, aunque los oleajes extremos pueden sobrepasar la duna de arena, sobre todo donde se ha reducido la altura por extracción o por deflación eólica debido a la pérdida de la vegetación natural. La parte de la duna de arena hacia el mar es generalmente menos empinada excepto luego de tormentas cuando ocurre socavamiento por las mareas y el oleaje sobre la playa alta. La parte posterior de la duna de arena puede tener una pendiente más empinada y transicionar con humedales donde aflora la **napa freática**, u otras dunas tierra adentro.

¿Qué es la napa freática?

La **napa freática** es la capa de agua subterránea en el suelo.

¿Hay dunas de arena en Puerto Rico?

Sí, en Puerto Rico hay dunas de arena en las costas de alta energía como la costa norte, aunque están desapareciendo a causa de la actividad humana (ej., en Isabela, Camuy, Piñones y Vacía Talega).

¿Se siguen formando nuevas dunas de arenas?

El proceso de formación y recuperación de las dunas es muy lento y depende del suministro de arena disponible y los cambios en el nivel del mar. Es muy difícil encontrar dunas en formación por causa del impacto humano en la costa (Bush *et al.* 1995). Sin embargo, se puede manejar la costa para fomentar la formación de dunas de arena evitando la extracción de arena, el tráfico peatonal excepto por senderos y prohibiendo el uso de vehículos en las dunas y playas. Donde sea necesario se podría considerar restaurar las playas mediante alimentación artificial, aunque esto es controversial.

¿Cual es la relación entre las dunas de arena y la zona marítimo-terrestre?

Las dunas de arena son parte de la zona marítimo-terrestre. Son aterramientos que causa el mar.

COSTAS ROCOSAS

¿Qué es una costa rocosa?

Una costa rocosa es una costa de promontorios de eolianita, afloramientos rocosos de otros tipos como **roca caliza**, **roca ígnea** o **acantilados** (DRNA 2005).

¿Cuáles son las zonas de la costa rocosa?

La costa rocosa puede dividirse en tres grandes zonas: un mesolitoral que se caracteriza por la alternancia de emersiones y sumersiones; un infralitoral que comprende la zona siempre sumergida y de aguas agitadas; y una zona supralitoral que es afectada por la acción del oleaje. El supralitoral comprende el área sobre la línea de marea más alta hasta donde llega el rocío marino. El supralitoral es más extenso en lugares expuestos al fuerte oleaje y donde el viento transporta el rocío y gotas de agua más lejos. En el supralitoral pueden reconocerse una porción de agitación constante, debido a la rompiente y barrida de las olas (parte inferior) y las **zonas de rompiente y espuma**, **zona de salpicadura** y **zona de aerosoles o niebla** (Fig. 5.17). Las comunidades del litoral rocoso y su estratificación no son bien desarrolladas en Puerto Rico debido a la escasa amplitud de la marea, la fuerte desecación, altas temperaturas y las costras de sal que se forman debido a la evaporación del rocío y las gotas de agua. En la zona mesolitoral dominan las Rodofíceas (algas rojas) en la parte superior y Feofíceas por debajo del mar. El grado de humectación es determinado por la altura de las olas y la fuerza del impacto que depende de la topografía de la costa.

¿Qué es la zona de espuma?

La zona de espuma es la zona mojada por volúmenes irregulares de agua que se desprenden del agua de la barrida. Corresponde a la parte inferior del supralitoral donde los organismos son mojados por el oleaje y donde hay menores posibilidades de sobrecalentamiento y desecación.

¿Qué es la zona de salpicadura (rocío o spray)?

La zona de salpicadura o rocío es la porción del supralitoral donde salpica el agua o el rocío producido por el embate del oleaje.

¿Qué es la zona de aerosoles o niebla del mar?

La zona de aerosoles es la zona humedecida por pequeñas gotitas de agua (salitre) movidas por el viento. Esta zona es ocupada por gastrópodos como *Littorina*. Corresponde a la parte superior del supralitoral, una zona relativamente desierta, sujeta a condiciones muy rigurosas de transición entre el ambiente terrestre y marino.

¿Qué es caliza?

La caliza es una roca compuesta de carbonato de calcio de origen biológico (arrecifes de coral, erizos, moluscos, algas) y marino. Se pueden ver ejemplos en Aguadilla, Los Morrillos de Cabo Rojo, Mona y Monito (Vea a Lugo *et al.* 2001 para más información).

¿Qué es roca ígnea?

La roca ígnea es la roca que se forma como resultado de la cristalización y enfriamiento del **magma**.

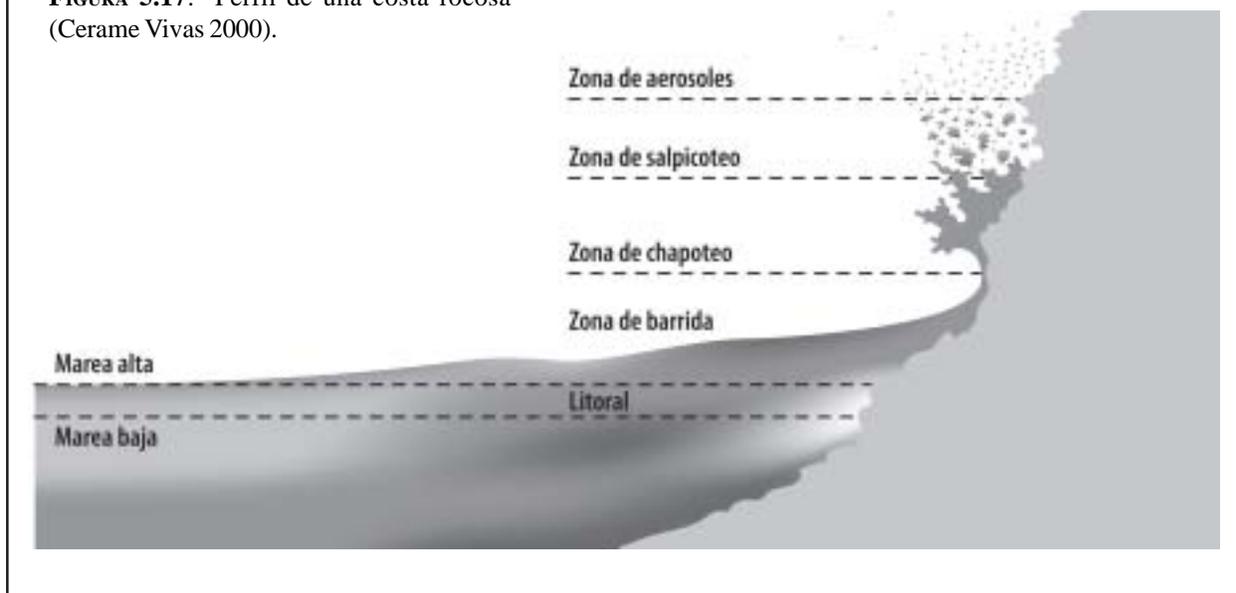
¿Qué es magma?

El magma es la roca líquida del planeta.

¿Qué es un acantilado?

Un acantilado es roca alta y tajada que sobresale del mar o de tierra firme cuyo parámetro (cara)

FIGURA 5.17. Perfil de una costa rocosa (Cerame Vivas 2000).



como promedio pueda ser asimilado a un plano que forme un ángulo con el plano horizontal igual o superior a sesenta grados sexagesimales. Se incluyen bermas, playas o aterramientos existentes antes de la coronación (DRNA 2005). Los acantilados son una estructura rocosa abrupta, a veces vertical. Sobre este tipo de costa la acción del mar es espectacular. En cualquier localidad específica la forma del acantilado depende de la naturaleza de la roca expuesta y las tasas de erosión marina y subaérea. A lo largo de las costas abruptas prácticamente no existe transporte litoral de sedimentos ni acumulación de sedimentos excepto donde los acantilados son protegidos por los propios derrumbes, en cuyo caso pueden formarse pequeñas playas en el fondo de caletas muy estrechas. En general, las costas rocosas resisten bien el embate del oleaje y son relativamente estables. Aún así los acantilados son susceptibles a deslizamientos pero ese riesgo no puede evaluarse pues no hay una base para determinar la probabilidad de ocurrencia. La resistencia de una masa rocosa depende del tipo de roca y la presencia de fracturas que se encuentran ocultas en la roca. Cambios en la humedad pueden aumentar significativamente el riesgo de desplome.

¿Cuál es la relación entre las costas rocosas (y los acantilados) y la zona marítimo-terrestre?

Las costas rocosas y acantilados son parte de la zona marítimo-terrestre por el efecto de las mareas y las olas sobre estos sistemas. En el caso de los acantilados costeros, la zona marítimo-terrestre llega a su coronación (al tope de ellos).

HUMEDALES MAREALES

¿Qué es un humedal?

Un humedal es un sistema ecológico inundado o saturado por agua subterránea o superficial (salada o dulce) a una frecuencia y duración que bajo condiciones naturales sostiene organismos adaptados a terrenos saturados y/o bajos en oxígeno. El agua del humedal puede ser dulce, salina o una mezcla de las dos (Lugo 1990). Los pantanos, las ciénagas, los bosques inundables, los salitrales, las **zonas riparias**, los valles aluviales, las lagunas, los estuarios y los manglares son todos humedales. (Vea a Lugo y García Martínó 1996 para más información).

¿Qué son humedales mareales?

Los humedales mareales o humedales estuarinos son áreas pantanosas saturadas por la mezcla de las aguas marinas sujetas al movimiento de las mareas y el agua dulce proveniente de **acuíferos** o escorrentía terrestre. Se desarrollan donde aflora la napa freática o donde ésta yace muy cerca de la superficie. En estas áreas se forman pantanos o marjales.

¿Qué es un pantano o marjal?

Un pantano o marjal se refiere a áreas con vegetación que están inundadas o saturadas por agua (humedales). Estos sistemas incluyen áreas permanentemente inundadas y otras que fluctúan entre estar saturadas y secas.

¿Qué es una zona riparia?

Una zona riparia corresponde a una franja de terreno en los márgenes de ríos, lagos y/o lagunas. La vegetación en esta zona es generalmente diferente a la vegetación lejos de los márgenes.

¿De dónde sale el agua que satura los humedales?

El agua que satura los humedales puede ser agua dulce que llega por el desborde de ríos, precipitación (lluvia) o por afloramiento de la napa freática o agua salada que entra por infiltración o por acción de las olas. Por ende, las fuentes de agua que saturan los humedales son las aguas pluviales (la lluvia y su escorrentía) y las aguas marinas (el mar). Cerca de la costa los humedales mareales ocupan terrenos bajos donde se encuentra la zona de contacto entre el agua dulce y salada. Durante tiempos de sequía incursiona el agua salada. La salinidad se reduce cuando la lluvia, escorrentía y percolación predominan. Frecuentemente la cuña de agua dulce se encuentra flotando sobre el agua del mar que penetra hacia el interior. La elevación del nivel freático depende de la escorrentía y la recarga de agua por la precipitación sobre la duna de arena. En terrenos kársticos, cerca de la costa son comunes los afloramientos de agua o manantiales (Vea a Lugo *et al.* 2001 para más información).

¿Qué es un estuario?

Un estuario es un cuerpo de agua o humedal donde el agua dulce se mezcla con el agua de mar. La mezcla puede ser continua o periódica. En regiones secas, la salinidad del estuario puede ser más alta que la del mar, ya que cuando se evapora el agua de mar la salinidad aumenta. A ese tipo de estuario se le conoce como un estuario negativo ya que en vez de disminuir la salinidad del mar dentro del estuario, la salinidad aumenta. La bahía de Ensenada Honda en Ceiba y las bahías fosforescentes en La Parguera, Fajardo y Vieques son ejemplos de estuarios en Puerto Rico con salinidad superior a la del mar. Los estuarios incluyen las desembocaduras de los ríos y sus **cauces** hasta donde llega la marea, los **manglares**, las albuferas y los salitrales; en fin, todos los humedales mareales. (Vea a Lugo y García Martínó 1996 para más información).

¿Cuáles son los estuarios en Puerto Rico?

Todos los humedales mareales, lagunas, bahías, desembocaduras de ríos y quebradas son estuarios (Fig. 5.18).

¿Qué es un río?

Un río es el “curso de agua que sirve de desagüe principal a una cuenca y que descarga a otro río, lago, laguna, mar u océano” (Junta de Planificación 2005). Los ríos existen en forma perenne o intermitente. Los ríos perennes tienen agua todo el año, mientras que los intermitentes tienen agua sólo durante la época de lluvia. (Vea a Lugo y García Martínó 1996 para más información).

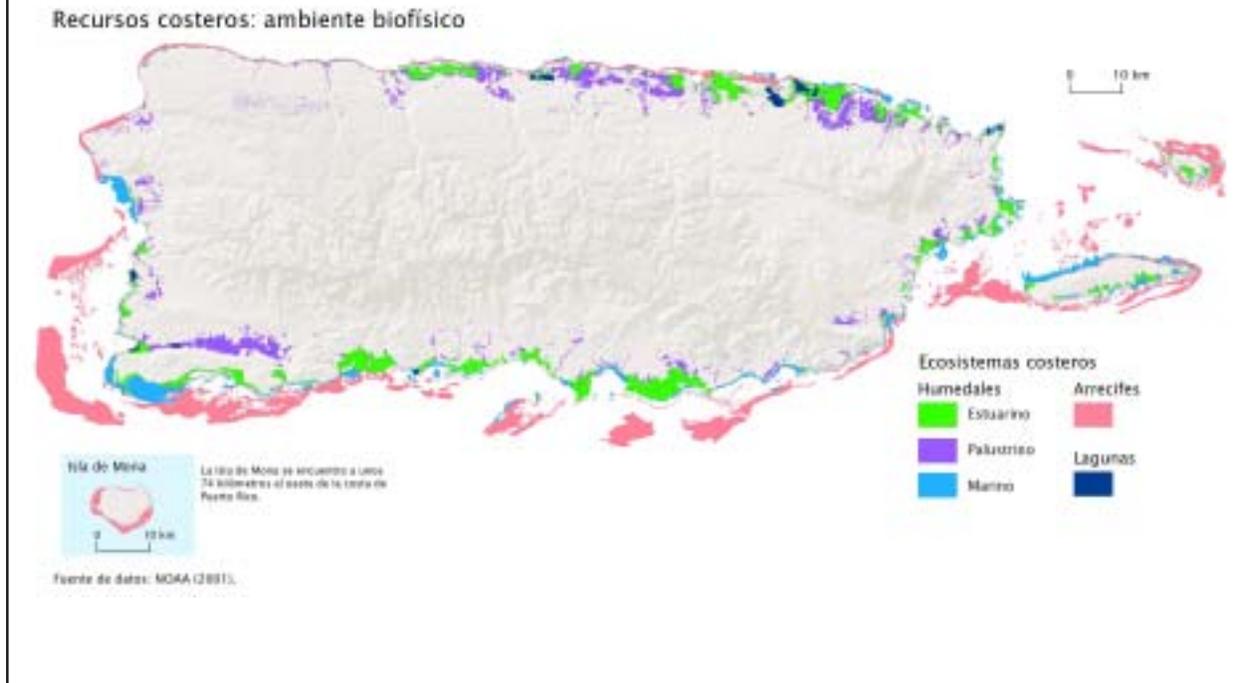
¿Qué es el cauce de un río?

El cauce de un río es por donde fluyen sus aguas.

¿Qué es la desembocadura de un río?

La desembocadura de un río es el área por donde el río desagua en el mar o a otro cuerpo de agua.

FIGURA 5.18. Distribución geográfica de los ecosistemas costeros de Puerto Rico (López Marrero y Villanueva Colón 2006). Los sistemas palustrinos son humedales de agua dulce.



¿Qué es una quebrada?

Una quebrada es el “curso de agua que forma parte del sistema de tributarios de un río o que descarga a un lago, laguna, mar u océano” (Junta de Planificación 2005).

¿Qué es un arroyo?

Un arroyo es una corriente natural de agua con caudal discontinuo en función de las estaciones. Los arroyos se caracterizan por tener un régimen hídrico irregular, con estiaje acusado después de fuertes precipitaciones.

¿Qué es un acuífero?

Un acuífero es una formación geológica subterránea de grava, arena o piedra con poros capaces de almacenar y rendir agua (Fig. 5.19). Las condiciones geológicas e hidrológicas determinan el tipo y funcionamiento del acuífero.

Por ejemplo, la porosidad de las rocas puede variar entre el 5 y el 20 por ciento, dependiendo del tipo de roca (Vea a Lugo y Martínó 1996 para más información).

¿Qué son salitrales o marismas?

Un salitral o marisma es un humedal estuarino caracterizado por la acumulación de sal en la superficie y por ende, tanto la presencia de **plantas halófitas** como sectores sin vegetación y sectores con predominancia de algas azul verdosas. Los salitrales se forman en la parte superior de la planicie intermareal y están asociados a los bordes del manglar en áreas de poca precipitación o de mucha evaporación. Los salitrales son zonas de alta productividad aprovechada por aves migratorias y otras especies. Aunque no son ocupados por plantas vasculares hacen parte funcional del ecosistema del manglar.

FIGURA 5.19. Perfil idealizado de un acuífero (Allaby 1996). El agua del acuífero se almacena en el material permeable entre la roca impermeable y la capa de suelo superficial con su nivel freático.



¿Qué son plantas halófitas?

Las plantas halófitas son aquellas que están adaptadas a un ambiente con alto contenido de sal.

¿Qué es un manglar?

Un manglar es un humedal estuarino tropical dominado por halófitas leñosas (árboles) pertenecientes a un reducido grupo de familias. En Puerto Rico, sólo cuatro especies de árboles forman manglares: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botón (*Conocarpus erectus*). El árbol de mangle tiene la particularidad de poder crecer donde ningún otro tipo de árbol puede crecer, en suelos inundados con altas concentraciones de sal.

¿Qué es albufera?

Una albufera es una laguna costera estuarina.

¿Cuál es la relación entre los humedales mareales (incluyendo estuarios y ríos sujetos a mareas) y la zona marítimo-terrestre?

Todos los humedales mareales, incluyendo estuarios y la porción de los ríos y quebradas sujetos a mareas, son parte de la zona marítimo-terrestre.

MAREAS

¿Qué es la marea?

La marea es la oscilación (ascenso y descenso) diurna (sur de Puerto Rico) y semi-diurna (norte de Puerto Rico) en el nivel del mar producida por las fuerzas gravitacionales de la Luna, el Sol y la Tierra. Se conoce también como marea astronómica. Su presencia en un lugar causa el establecimiento de humedales mareales, componentes de la zona marítimo-terrestre.

¿Cuál es la diferencia entre una ola y la marea?

La marea es un tipo de ola. La marea es una ola de agua llana con largos de onda de miles de kilómetros, mientras que las olas producidas por el viento tienen a lo más medio kilómetro de largo de onda. La marea ocurre a causa de fuerzas astronómicas (el Sol y la Luna), las olas del mar se forman mayormente a causa del viento.

¿Qué funciones tienen las mareas?

Las mareas son responsables por la entrada de agua de mar tierra adentro por medio de su **flujo** y **reflujo**. La marea es responsable por el intercambio de nutrientes y materia orgánica entre el mar y los humedales mareales. También le provee acceso y aeración a los organismos estuarinos y marinos de la zona marítimo-terrestre. Su altura corresponde a la alcanzada por la pleamar.

¿Qué factores causan las mareas?

La marea o marea astronómica se debe a la fuerza de atracción de la luna y el sol sobre las partículas de agua de los océanos. La fuerza de atracción es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Esto significa que aunque el Sol es mucho más masivo que la Luna, por su distancia la atracción es menos de la mitad de la atracción de la Luna. El efecto de la atracción producen el abombamiento de agua de los océanos que corresponden a las crestas de una onda gigantesca, de poca altura pero de enorme longitud de onda. Cuando la Tierra, la Luna y el Sol están en línea recta (sizigias) resultan las mareas de mayor amplitud, llamadas **mareas vivas** (mareas de primavera [*spring tides*] o de **alineación**) (Fig. 5.20a). Entonces hay luna nueva o llena. Cuando el Sol y la Luna forman un ángulo recto con la Tierra se producen marea que son respectivamente menos altas y menos bajas que de ordinario. Estas mareas se llaman mareas muertas [*neap tides*] o de **cuadratura** (Fig. 5.20b).

¿Qué son fuerzas astronómicas?

Las fuerzas astronómicas son fuerzas de atracción asociadas a la masa y distancia entre los cuerpos celestiales en el universo, en este caso el Sol, la Luna y la Tierra.

¿Cuál es la relación entre los ciclos de la Luna y las mareas?

Las mareas responden a los ciclos de la Luna. El nivel del mar varía de acuerdo a la posición

de la Luna en relación a las aguas del mar. Es de esperarse que la marea alta ocurra cuando la Luna esté en el meridiano pero esto no ocurre así debido a la fricción y la batimetría que hacen a las mareas quedar un poco rezagadas.

¿Qué es el flujo de la marea?

El flujo de la marea se refiere a la corriente de agua asociada a un aumento de nivel, cuando el agua de mar penetra tierra adentro o circula por causa del cambio de marea. El aumento de nivel recibe el nombre de flujo y la mayor altura alcanzada recibe el nombre de pleamar.

¿Qué es el reflujo de la marea?

El reflujo de la marea se refiere al descenso de nivel y la retirada del agua hacia el mar por causa del cambio de marea. El nivel más bajo es la bajamar y la diferencia entre la pleamar y bajamar se denomina amplitud de la marea.

¿Qué es una marea sensible?

La marea sensible es la marea que se puede medir.

¿Cómo se miden las mareas?

Las mareas se miden con un mareógrafo.

¿Qué es un mareógrafo?

El mareógrafo es el instrumento que se utiliza para medir y registrar mareas. Hay tres tipos de mareógrafos; de flotador, de presión y acústico. Los mareógrafos de flotador son de uso generalizado y se caracterizan por su construcción sencilla y robusta. El instrumento consiste en un flotador y un aparato de registro. El flotador se coloca dentro de un cilindro de forma que el movimiento vertical se transfiere a una pluma sobre un tambor de registro. Los mareógrafos de presión son fáciles de instalar y usualmente se usan para estudios detallados pero de corta duración. La información puede registrarse electrónicamente en el lugar o enviarse por telemetría a lugares distantes.

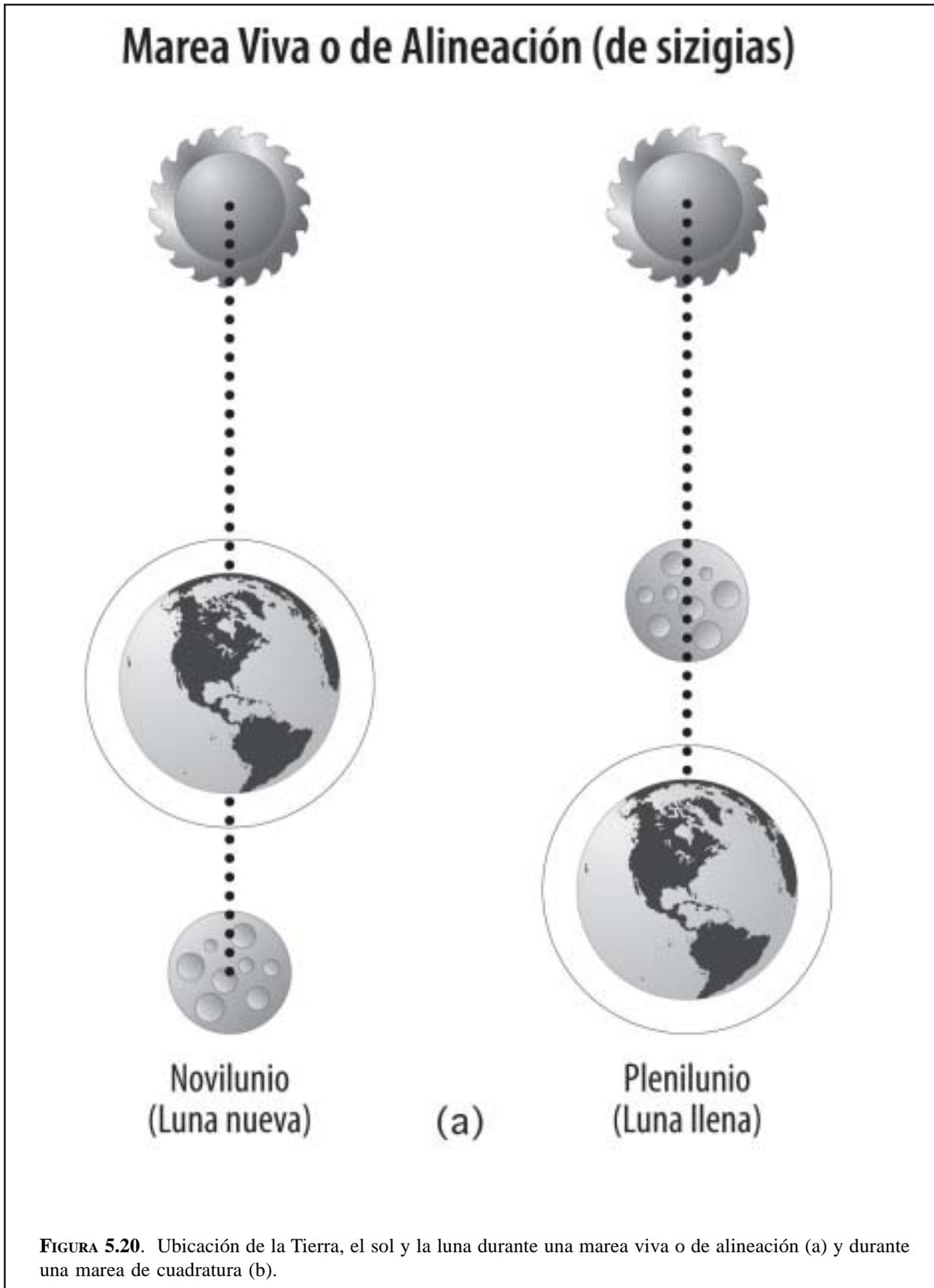
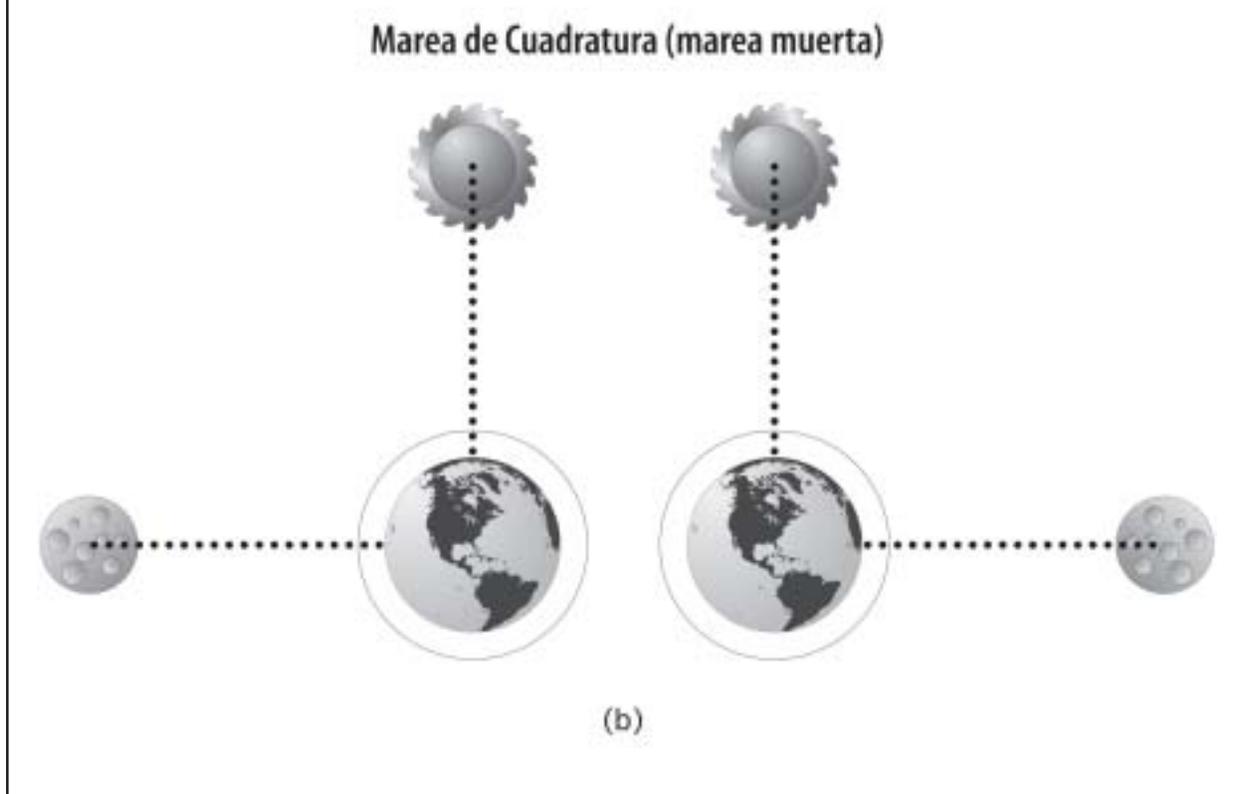


FIGURA 5.20. Ubicación de la Tierra, el sol y la luna durante una marea viva o de alineación (a) y durante una marea de cuadratura (b).



¿Dónde se encuentran los mareógrafos en Puerto Rico?

Hasta hace poco en Puerto Rico había solo cuatro mareógrafos que se encuentran en la Isla Magueyes (Lajas), San Juan, Culebra y Vieques. Estos mareógrafos pertenecen y están administrados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés). Como parte del programa de mitigación de tsunamis, se han instalado (o se instalarán) mareógrafos adicionales, algunos de ellos subvencionados por Agencia Federal para el Manejo de Emergencia (FEMA, por sus siglas en inglés). Los lugares son: Arecibo, Mayagüez, Peñuelas, Yabucoa, Fajardo, Vieques (uno adicional), Aguadilla e Isla Mona.

¿Dónde son perceptibles las mareas?

Las mareas son perceptibles en todas las orillas costeras del mundo.

¿Cuánto varía la percepción de la marea?

La **amplitud de la marea** varía por muchos factores tales como las variaciones en el fondo del mar, la forma de la costa o la latitud de la costa. En Puerto Rico las mareas son perceptibles en toda la orilla costera y en todos los humedales mareales, incluso los manglares y partes de los ríos. Se puede medir marea incluso en el agua que se acumula en el interior de las dunas de arena o bajo la arena de la playa.

¿Cuántos ciclos de marea existen?

Hay una infinidad de ciclos mareales, pero para los efectos de este trabajo vamos a expandir en aquellos que hemos identificado como los más relevantes: ciclo Mareal (diario), ciclo Sinódico (mensual) y ciclo Metónico (18.6 años).

Ciclo Mareal

¿Qué es un ciclo mareal?

Un ciclo mareal o día lunar es el tiempo que le toma al planeta Tierra rotar con respecto a la luna. Esto típicamente toma 24.84 horas solares. El intervalo medio entre pleamares o bajamares sucesivas es de 12 horas y 25 minutos. Como resultado, la hora de bajar o pleamar se retrasan 50 minutos de un día al siguiente.

¿Cuáles son las distintas fases de la marea?

Las distintas fases de la marea son la fase de pleamar (marea alta) y la fase de bajar (marea baja).

¿Qué es pleamar?

La pleamar (*high water*) es la altura máxima alcanzada cuando sube la marea; es la marea alta. Esta varía con el tiempo.

¿Qué es la bajar?

La bajamar (*low water*) es la altura mínima alcanzada cuando baja la marea; es la marea baja. Esta varía con el tiempo.

Definición legal: Bajamar escorada es el límite que define el linde exterior (hacia el mar) de la zona marítimo-terrestre. Es también el límite interior del mar territorial.

¿Con qué frecuencia ocurren estas fases de la marea?

La frecuencia de las dos fases de la marea, pleamar y bajar, dependen del lugar en que se encuentren en la superficie del planeta Tierra. Pueden ocurrir una vez al día (diurna), dos veces al día (semi-diurnas) o mixtas (Fig. 5.21).

¿Cuántas mareas diarias hay en Puerto Rico?

En la costa norte, este y oeste de Puerto Rico se observan dos mareas altas (aunque con diferentes magnitudes), es decir la marea es semi-diurna. En la costa sur de Puerto Rico se

observa una sola marea alta, es decir la marea es diurna (Fig. 5.22).

¿Qué es la amplitud de la marea?

La amplitud de la marea es la diferencia de nivel entre la marea alta y la marea baja (pleamar y bajar); en otras palabras, es cuánto sube y baja la marea en un lugar específico.

¿Cuál es la amplitud de la marea en Puerto Rico?

En Puerto Rico, la amplitud de la marea es aproximadamente 30 cm (0.98 pies). En varios lugares en la costa norte la amplitud promedio de las mareas es aproximadamente 35 cm (1.1 pies) y en la costa sur es aproximadamente 20 cm (0.7 pies) (DRNA 2005).

¿Qué es la línea de pleamar?

La línea de pleamar es la intersección del plano de la pleamar media y la costa (McGraw-Hill 2003). En otras palabras, es la elevación que la pleamar media alcanza en una costa específica.

¿Qué es la línea de bajar?

La línea de bajar es la intersección del plano de la bajar media y la costa. En otras palabras, es la elevación que la bajar media alcanza en una costa específica.

Ciclo Sidónico

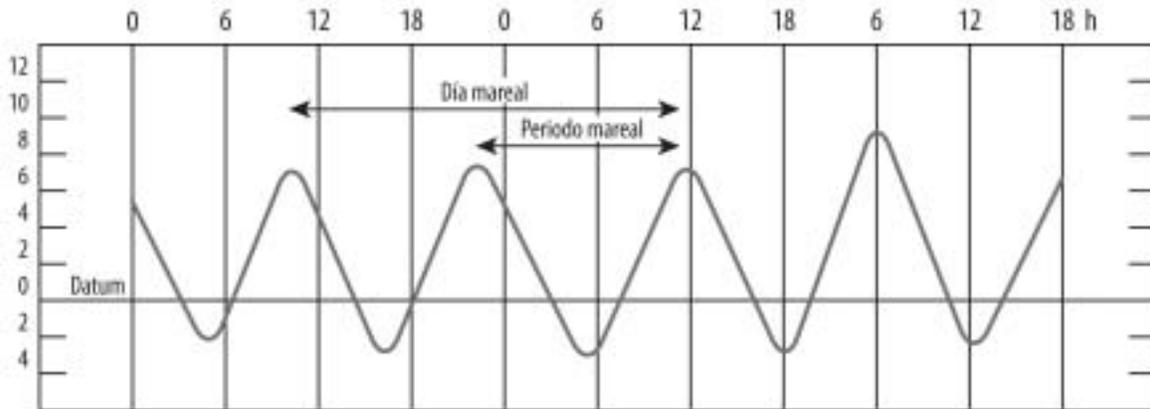
¿Qué es el ciclo sidónico?

El ciclo sidónico o mes lunar se refiere al periodo de 29.5 días que tarda la Luna en llegar al mismo lugar en relación a la Tierra. En otras palabras, el periodo entre una luna nueva y la próxima luna nueva.

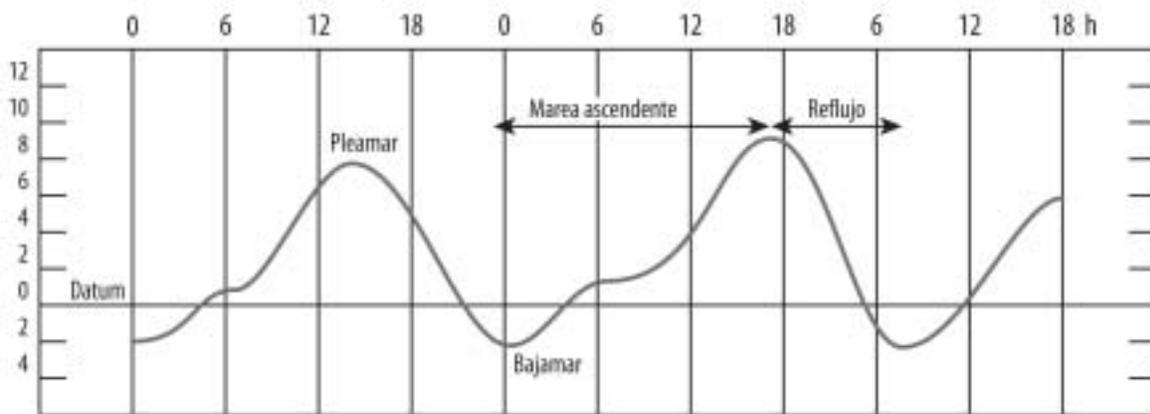
¿Qué es una marea viva o de alineación?

La marea viva o de alineación (*spring tides*) es la marea que ocurre cuando el Sol y la Luna están alineados uno al otro con respecto a la Tierra. Bajo estas condiciones ocurren las

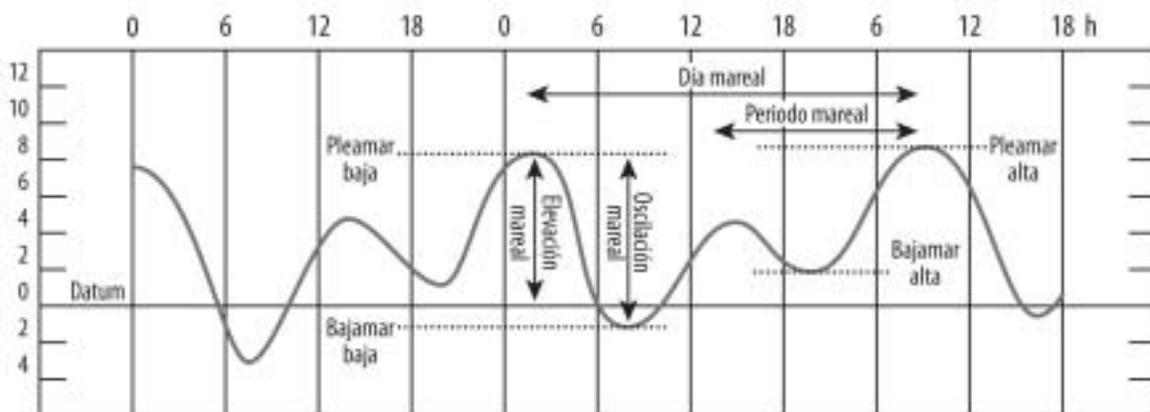
FIGURA 5.21. Ejemplos de tres tipos de marea: semi-diurnas, diurnas, mixtas (Voigt 1998). *Datum* se refiere al nivel promedio del mar. Las figuras ilustran los distintos componentes de la marea y su duración durante el ciclo mareal.



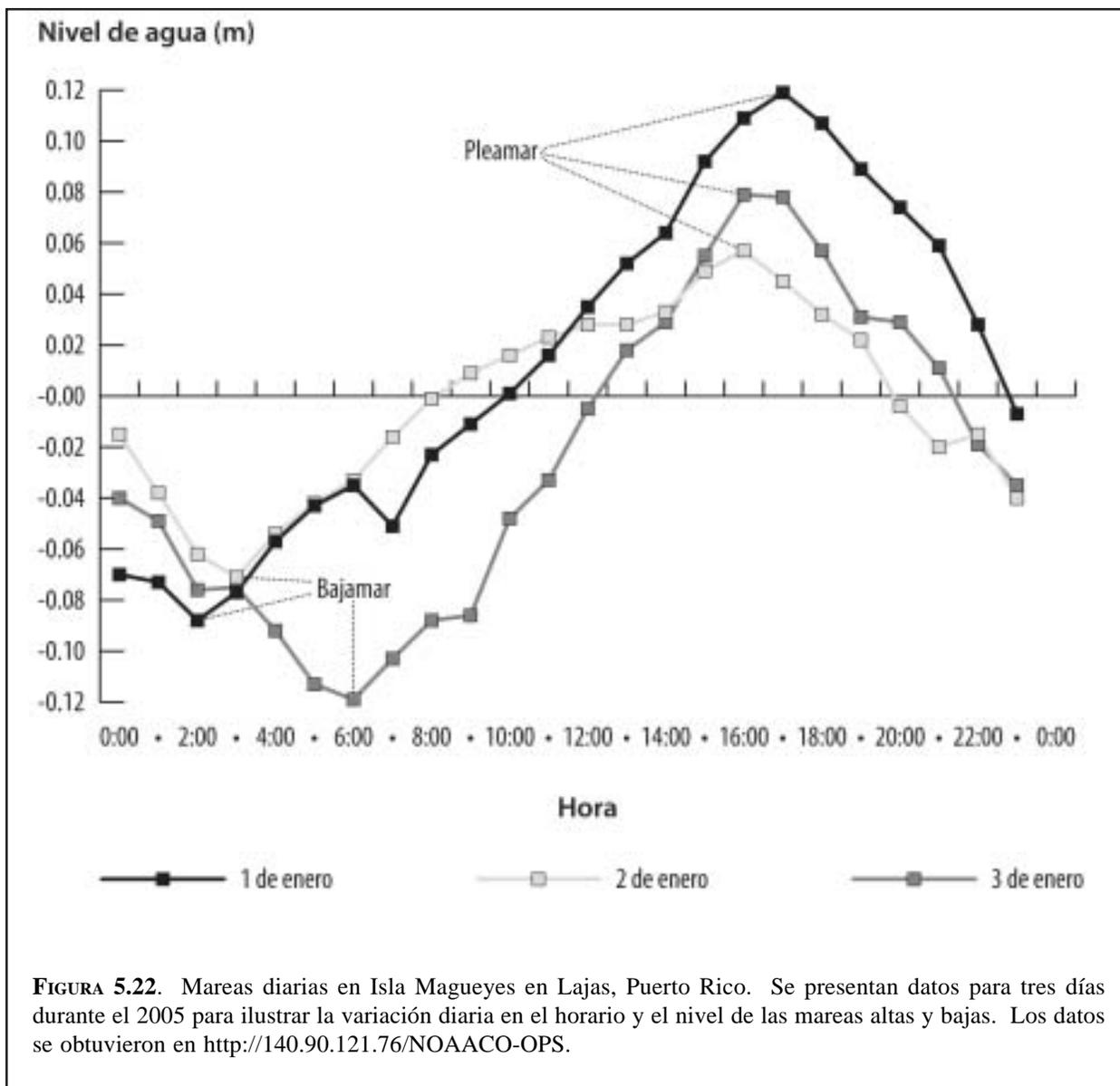
Semi-diurno



Diurno



Mezclado



mareas más altas y más bajas, por ende la amplitud de la marea es máxima (Fig. 5.20a). Aquí es cuando la fuerza gravitacional de la Luna tiene más influencia sobre las mareas.

¿Cuándo ocurre la marea viva o de alineación?

La marea viva o de alineación ocurre alrededor de cada dos semanas, en los plenilunios (luna llena) y novilunios (luna nueva) de cada mes (que es cuando la Luna y el Sol están alineados uno respecto al otro en relación a la Tierra) (Fig. 5.20a).

¿Qué es una marea de cuadratura?

La marea de cuadratura (*neap tides*) es la marea que ocurre cuando la Luna y el Sol están en posiciones perpendiculares uno respecto al otro con relación a la Tierra (Fig. 5.20b). Sus efectos sobre la marea se cancelan parcialmente causando las mareas menos altas y menos bajas, por ende la amplitud de la marea es mínima.

¿Cuándo ocurre la marea de cuadratura?

La marea de cuadratura ocurre cada 14 días cerca del primer y último cuarto de la Luna (que

es cuando la Luna y el Sol están perpendiculares uno respecto al otro en relación a la Tierra) (Fig. 5.20b).

¿Qué es la marea equinoccial?

La marea equinoccial es la marea que ocurre cuando el sol está sobre el ecuador. Esto ocurre dos veces al año, el 21 o 22 de marzo y el 22 o 23 de septiembre, durante los equinoccios del Sol (Fig. 5.23). Aquí es cuando la fuerza gravitacional del sol tiene más influencia sobre las mareas.

¿Qué es la marea viva y equinoccial?

La marea viva y equinoccial es la que ocurre en los plenilunios (luna llena) y novilunios (luna nueva) de los equinoccios de cada año (Fig. 5.23). Las mareas equinocciales de sizigias son las más altas de todo el año, cuando el sol se encuentra sobre el Ecuador y además hay luna llena o nueva. Es aquí cuando las fuerzas gravitacionales del Sol y la Luna, combinadas, tienen más influencia sobre las mareas.

Ciclo Metónico

¿Qué es el ciclo metónico?

El ciclo metónico o lunar es un ciclo de 18.6 años correspondiente a 235 meses lunares que se utiliza para estimar los promedios de los niveles del mar. Para los efectos de este documento vamos a utilizar 19 años para referirnos al ciclo Metónico. Luego de un ciclo de Metón se repiten todas las fases lunares. La figura 5.24 ilustra dos ciclos Metónicos en Isla Magueyes (Lajas).

¿Cómo surgió el ciclo metónico?

El ciclo metónico lo descubrió Metón en Atenas en el año 440 antes de Cristo. El ciclo metónico se utilizó como base para el calendario de los griegos hasta el 46 antes de Cristo cuando se introdujo el calendario juliano.

¿Qué es el nivel medio de las mareas?

El nivel medio de las mareas es el punto medio entre la pleamar media y la **bajamar media**.

¿Qué es pleamar media?

La pleamar media (*mean high water*) u ordinaria es el promedio de la elevación de todas las pleamares registradas en un punto en particular en el periodo de 19 años del ciclo metónico.

¿Qué es pleamar alta media?

La pleamar alta media (*mean higher high water*, Tabla 5.1) es el promedio de la elevación de las pleamares altas de las mareas registradas en un punto particular en el periodo de 19 años del ciclo Metónico. La figura 5.25 ilustra la pleamar alta media de Isla Magueyes.

¿Qué es bajamar media?

La bajamar media (*mean low water*) es el promedio de la elevación de todas las bajamares registradas en un punto en particular en el periodo de 19 años del ciclo metónico.

¿Qué es pleamar máxima viva y equinoccial?

La pleamar máxima viva y equinoccial es la pleamar más alta que ocurre en los 19 años del ciclo metónico.

¿Qué es la marea escorada?

La marea escorada es la marea más baja posible, o sea, cuando el mar baja a su nivel más bajo en el ciclo metónico de 19 años.

Nivel del Mar

¿Qué es el nivel del mar?

El nivel del mar es el nivel de la superficie del mar que se mide como el punto medio entre la pleamar y la bajamar. Su promedio a lo largo de un ciclo metónico se utiliza como punto de referencia (*datum*) para reconocer elevación terrestre o profundidades marítimas.

FIGURA 5.23. Posición de la Tierra en relación al sol en diferentes momentos del año (Art 1993). Las estaciones del año y la fuerza de las mareas dependen de la posición de la Tierra con respecto al sol.

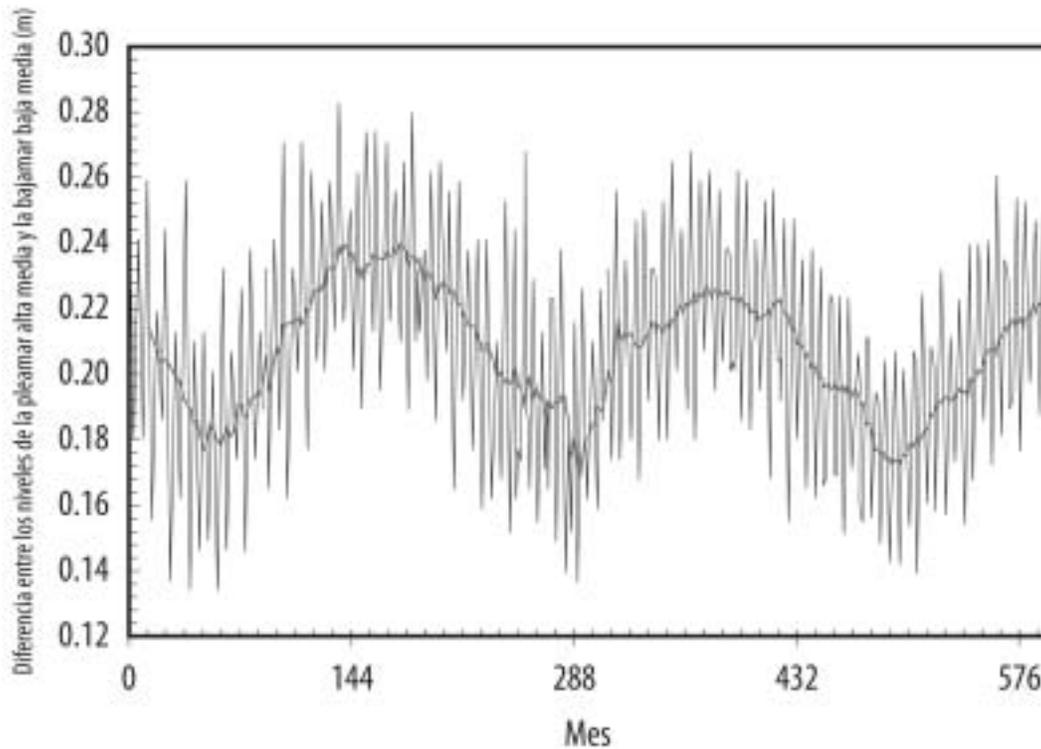
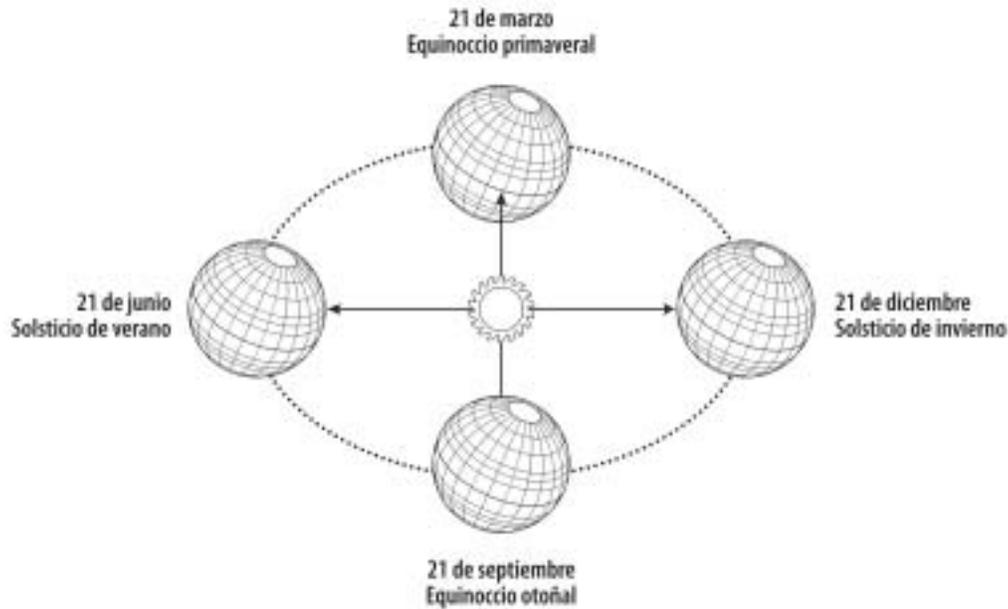
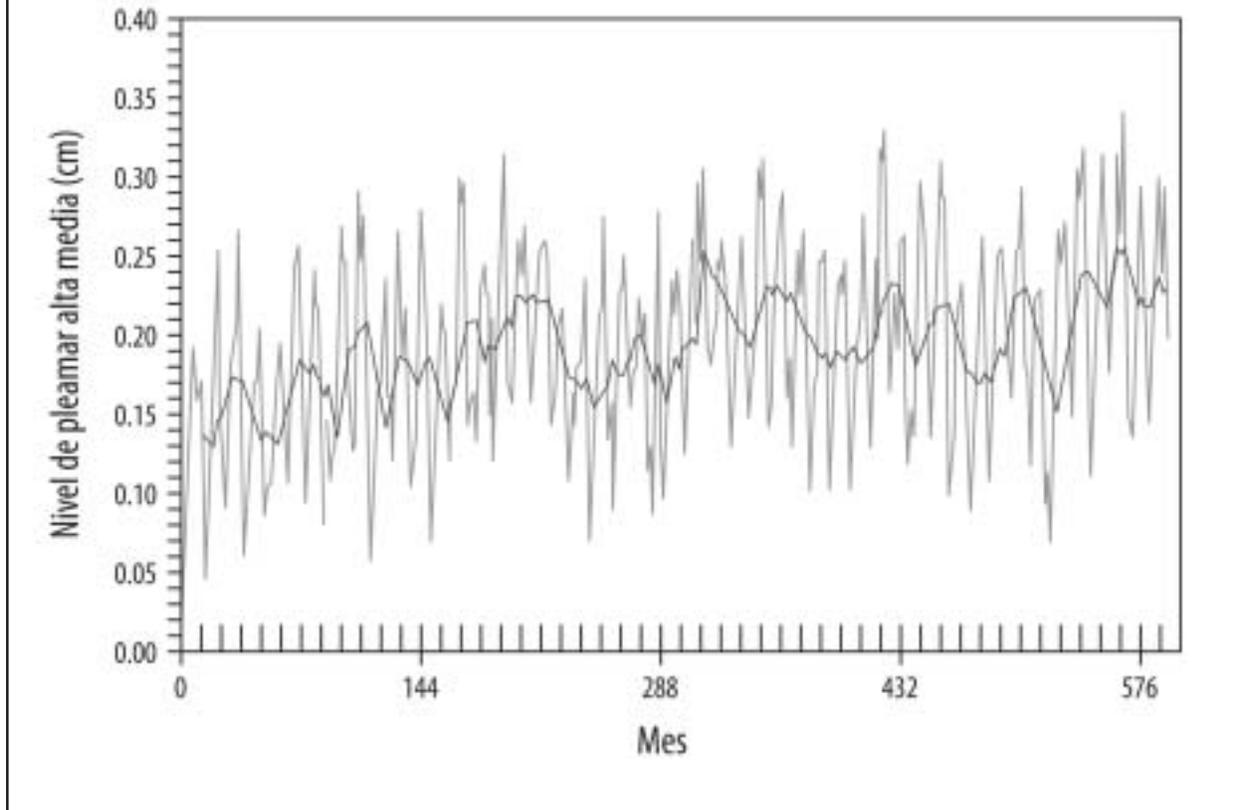


FIGURA 5.24. Ilustración de dos ciclos Metónicos basados en datos mareales para Isla Magueyes en Lajas, Puerto Rico desde 1955 a 2006. Los datos se obtuvieron en <http://140.90.121.76/NOAACO-OPS>. La gráfica incluye los datos mensuales originales y un promedio corrido (*running average*) basado en 12 meses.

TABLA 5.1. Tipos de mareas y sus definiciones.

Tipo de Marea	Definición
<i>Ciclo Mareal</i>	
Pleamar alta (<i>Higher high water</i>)	Es la pleamar (marea alta) más alta en un día o ciclo mareal. Si la marea es diurna (que ocurre una vez al día), la pleamar es la pleamar alta.
Bajamar alta (<i>Higher low water</i>)	Es la bajamar (marea baja) más alta de un día o ciclo mareal.
Pleamar baja (<i>Lower high water</i>)	Es la pleamar más baja de un día o ciclo mareal.
Bajamar baja (<i>Lower low water</i>)	Es la bajamar más baja de un día o ciclo mareal.
<i>Ciclo Sidónico</i>	
Mareas excepcionales	Los niveles del mar más extremos, tanto en pleamar como en bajamar y ocurren cuando las alineaciones de la luna, el sol y la Tierra son perfectas, tanto en la marea de cuadratura como en la marea viva o de alineación. Ocurren una vez al año, teniendo así una marea de cuadratura excepcional y una marea viva o de alineación excepcional.
Marea del perigeo	Es la marea asociada al tiempo cuando la luna está más cerca de la Tierra. En ese momento la luna ejerce su máximo efecto sobre las mareas.
Marea lunar	Es la porción de la marea producida por las fuerzas de la luna.
Marea solar	Es la marea producida únicamente por las fuerzas del sol.
Mareas lunisolares	El comportamiento armónico de la marea es atribuible en parte al ciclo lunar y solar y en parte a un consituyente lunisolar quincenal.
<i>Ciclo Metónico</i>	
Pleamar alta media (<i>Mean higher high water</i>)	Es el promedio de la elevación de las pleamares altas de la marea mezclada grabadas en un punto particular en el periodo de 19 años del ciclo Metónico.
Bajamar alta media (<i>Mean higher low water</i>)	Es el promedio de la elevación de las bajamares altas de la marea mezclada grabadas en un punto particular en el periodo de 19 años del ciclo Metónico.
Pleamar baja media (<i>Mean lower high water</i>)	Es el promedio de todas las pleamares bajas del Ciclo Metónico.
Bajamar baja media (<i>Mean lower low water</i>)	Es el promedio de todas las bajamares bajas del Ciclo Metónico.

FIGURA 5.25. Ilustración del promedio de la marea alta (pleamar alta media) de Isla Magueyes en Lajas, Puerto Rico desde 1955 a 2006. Los datos se obtuvieron en <http://140.90.121.76/NOAACO-OPS>.



¿Sólo existe un datum para reconocer elevaciones terrestres y profundidades marítimas?

No. Se utilizan más de un *datum* en la determinación de elevaciones terrestres y profundidades marinas. Los hidrógrafos han escogido para las cartas náuticas un cero (*datum*) hidrográfico que corresponde al nivel de las mareas más bajas (*mean low water*) para ofrecer mayor seguridad a la navegación, pero el cero de los hidrógrafos es a menudo diferente que el de los topógrafos. Las cartas topográficas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) utilizan el nivel de la pleamar media (*mean high water*) como *datum* para representar la orilla del mar. En Puerto Rico estas diferencias entre los diferentes marcos de referencia es muy poca debido a la pequeña amplitud vertical de la marea.

¿Qué es el nivel promedio del mar?

El nivel promedio del mar es el nivel del mar en base al punto medio entre la pleamar media (*mean high water*) y la bajamar media (*mean low water*) del mar (Fig. 5.26).

¿Cuántos niveles del mar (*datum*) se reconocen en los estudios de marea?

El *datum* de la marea es el plano de referencia determinado por observaciones de la marea. Hay varios *datum* de marea que tienen nombres bien definidos y métodos exactos para su determinación de acuerdo a la aplicación. El nivel del mar varía continuamente de acuerdo a la posición del Sol y la Luna con respecto a la Tierra y por ende, la amplitud de las mareas (Fig. 5.27). Los vientos, la presión atmosférica (fenómeno del barómetro invertido), las

FIGURA 5.26. Nivel promedio del nivel del mar en Isla Magueyes en Lajas desde 1955 a 2006 (curva del centro; la curva alta y la baja son, respectivamente, el pleamar alta media [*mean high high water*] y bajamar baja media [*mean low low water*]). El nivel promedio del mar cambia continuamente de acuerdo a las condiciones del mar y el ciclo astronómico. Los valores relativos del nivel promedio del mar no están basados en cero y sí en un *datum* para un lugar y tiempo específico. Por eso los datos reflejan valores sobre cero. Los datos se obtuvieron en <http://140.90.121.76/NOAACO-OPS>. La gráfica incluye los datos mensuales originales y un promedio corrido (*running average*) basado en 12 meses.

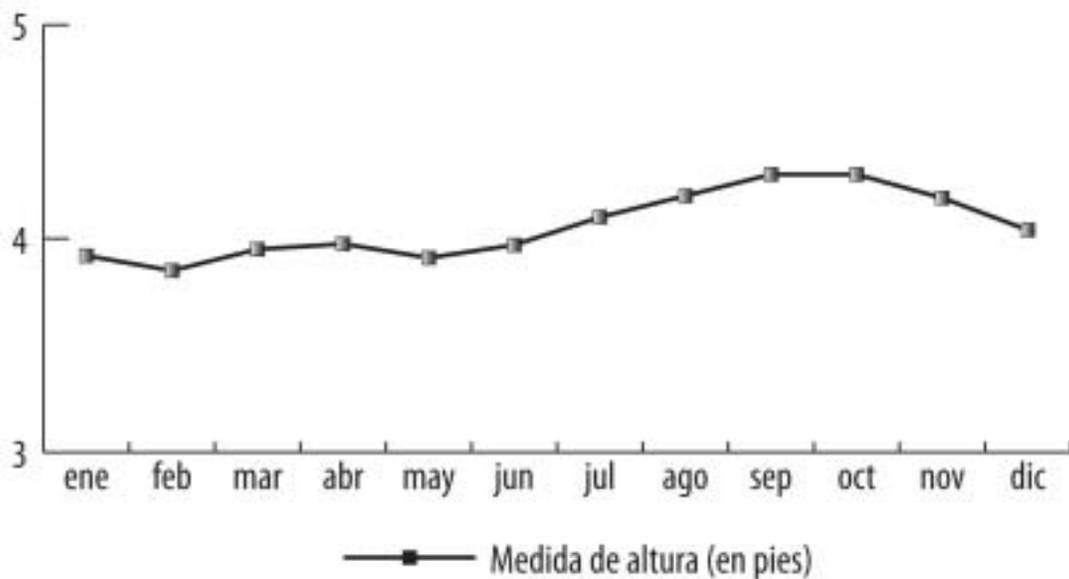
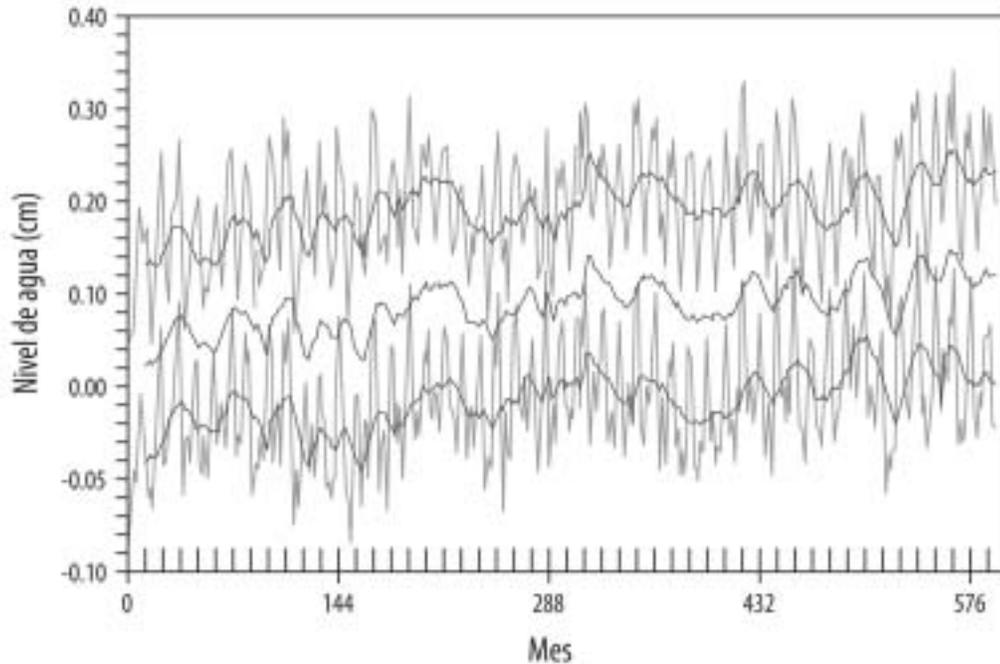


FIGURA 5.27. Variación mensual del promedio del nivel del mar en San Juan del 1967 al 1976 (Bush *et al.* 1995). Nótese que el nivel del mar es mayor entre agosto y noviembre y se reduce entre enero y mayo. Los datos se presentan en pies (1 pie = 30.34 cm).

TABLA 5.2. Distintos niveles del mar relacionados a distintas fases de la marea. Estos niveles delimitan la región intermareal y los organismos se zonifican de acuerdo a sus tolerancias a la exposición a la atmósfera o visto desde un punto de vista opuesto, su tolerancia a la inmersión en el agua de mar (Moore 1958). Sólo algunos significados de niveles mareales se presentan en esta tabla.

Nivel del Mar	Significado
Marea viva o de alineación excepcional	Ocurre uno o dos días al año; el nivel mayormente expuesto. El límite inferior de organismos terrestres, límite superior de organismos intermareales.
Pleamar media viva o de alineación	Sumergido en muchas de las mareas de alineación, pero no en todas.
Pleamar baja viva o de alineación	Se sumerge por lo menos una vez en cada ciclo mensual.
Pleamar alta de cuadratura Pleamar media de cuadratura Pleamar baja de cuadratura	El punto más alto que se inunda en todas las mareas del año. Nivel superior para organismos que toleran horas, pero no días de exposición.
Nivel promedio del mar Nivel medio de las mareas	Aquí ocurren los cambios más rápidos en los factores ecológicos intermareales.
Bajamar alta de cuadratura Bajamar media de cuadratura Marea de cuadratura excepcional	El nivel más bajo que va a estar expuesto en todas las mareas del año.
Bajamar alta viva o de alineación Bajamar media viva o de alineación Bajamar baja viva o de alineación	El nivel superior de organismos que toleran muy poco tiempo de exposición y el nivel inferior de organismos que toleran periodos largos pero no permanentes de inmersión.

corrientes marinas a gran escala y la temperatura del mar también influyen el nivel del mar. Utilizando datos a largo plazo es posible estimar distintos puntos en el continuo de niveles del mar causados por las mareas (Tabla 5.2).

¿Qué implicaciones biológicas tiene la variación continua en el nivel del mar?

Los distintos niveles del mar crean gradientes de exposición a la atmósfera e inmersión bajo agua del sustrato intermareal (Fig. 5.28) y gradientes de humedad en el sustrato (Fig. 5.29).

¿Qué relación hay entre el gradiente de exposición e inmersión y los organismos de zonas expuestas a la marea?

Estos gradientes de exposición a la atmósfera o inmersión en el agua causan que los organismos de esta zona desarrollen estrategias de vida adaptados a los distintos niveles del mar. Cada nivel del mar tiene implicaciones para la biología de alguna especie que habite en el mar o **estuario**. Algunos organismos son más tolerantes a la exposición a la atmósfera, mientras que otros toleran más la inmersión en el agua y aún otros se mueven de un extremo al otro. La amplitud en el nivel del mar que se observa en Puerto Rico tiene relevancia a la distribución y actividad de las especies intermareales (Figs. 5.30 a 5.35).

FIGURA 5.28. La relación entre el nivel de la marea y el por ciento del tiempo que la playa queda expuesta a la atmósfera (Moore 1958). La playa está expuesta 100 por ciento del tiempo a elevaciones sobre la pleamar de alineación excepcional (PAE). Cuando ocurren mareas promedio, el lugar en la playa con 100 por ciento de exposición a la atmósfera está ubicado a elevaciones menores y menores aún durante la pleamar de cuadratura excepcional (PCE). En el otro extremo, la playa está siempre bajo agua (0 por ciento de exposición a la atmósfera) a elevaciones menores a la de la bajamar de alineación excepcional (BAE). Este punto ocurre a elevaciones mayores durante la bajamar de cuadratura (BMC) y mayores aún durante la bajamar de cuadratura excepcional (BCE). El por ciento de exposición a la atmósfera determina qué tipo de organismos ocuparán qué espacios en la zonación de la playa. Pleamar media de alineación es PMA, pleamar media es PM, el nivel medio del mar (*datum*) es NM y bajamar media es BM.

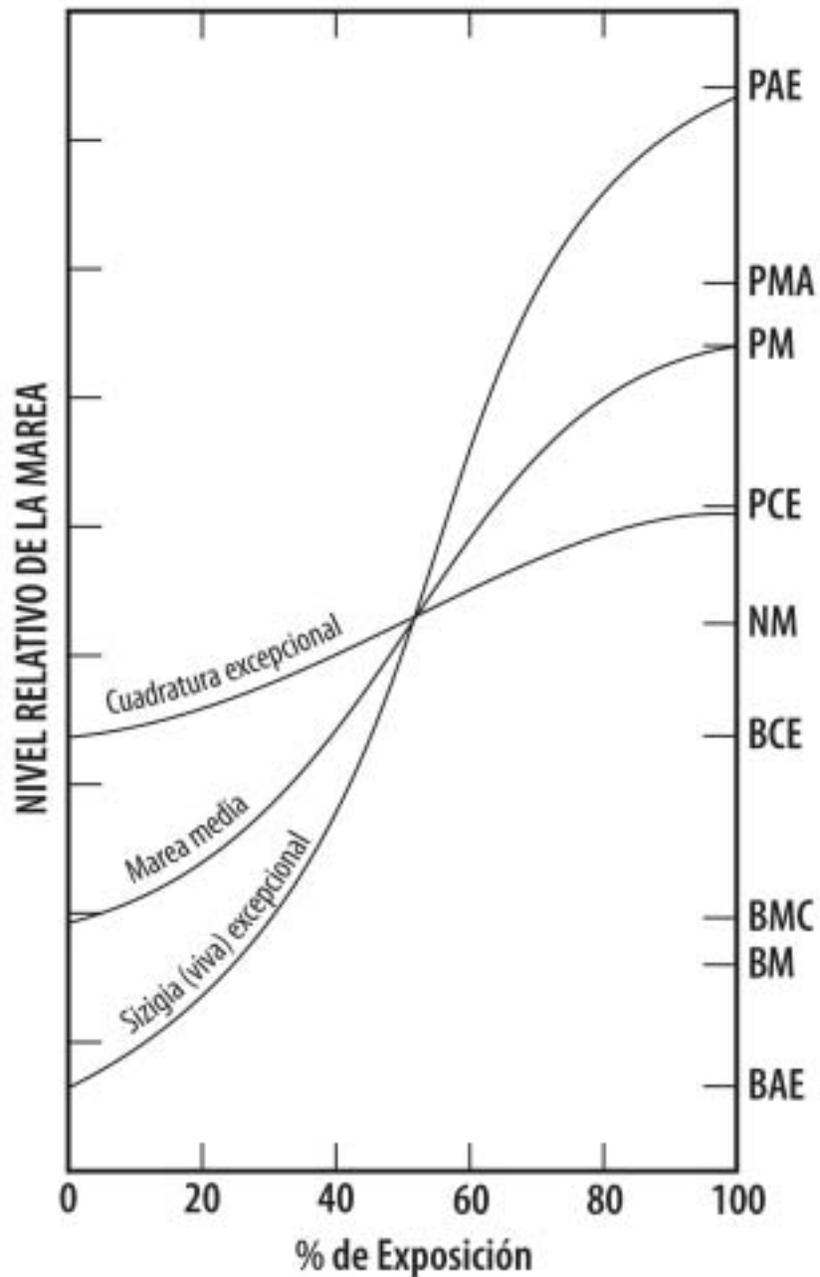


FIGURA 5.29. Zonas de contenido de agua en playas arenosas (Thurman y Webber 1984). Esta zonación es similar, pero no igual ya que refleja saturación de la arena), a la zonación por exposición a la atmósfera (Fig. 5.28). Ambas zonaciones ilustran las variaciones en condiciones que se observan como consecuencia del flujo y reflujo de la marea en las playas.

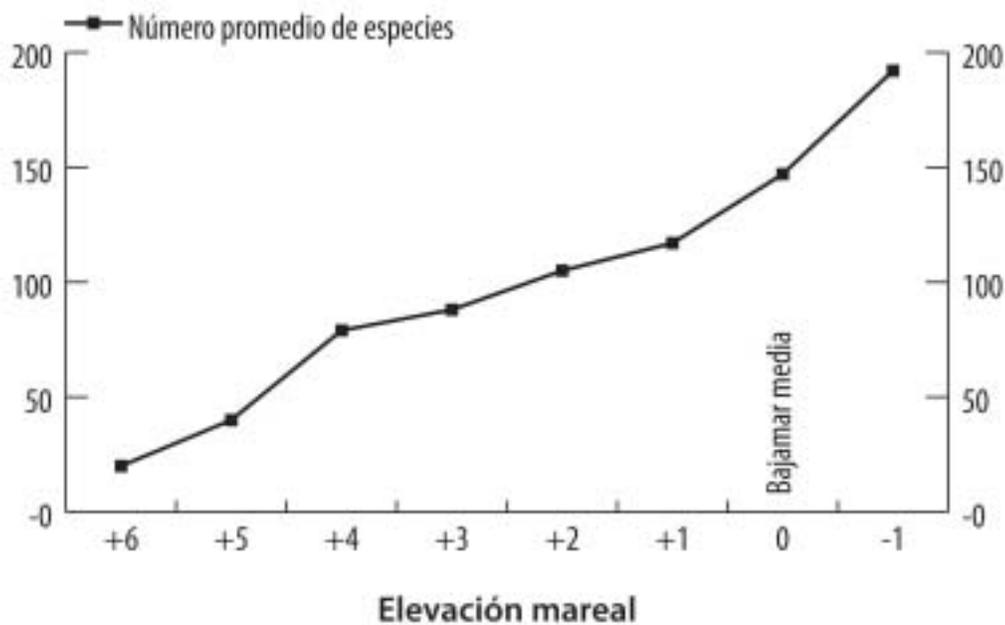
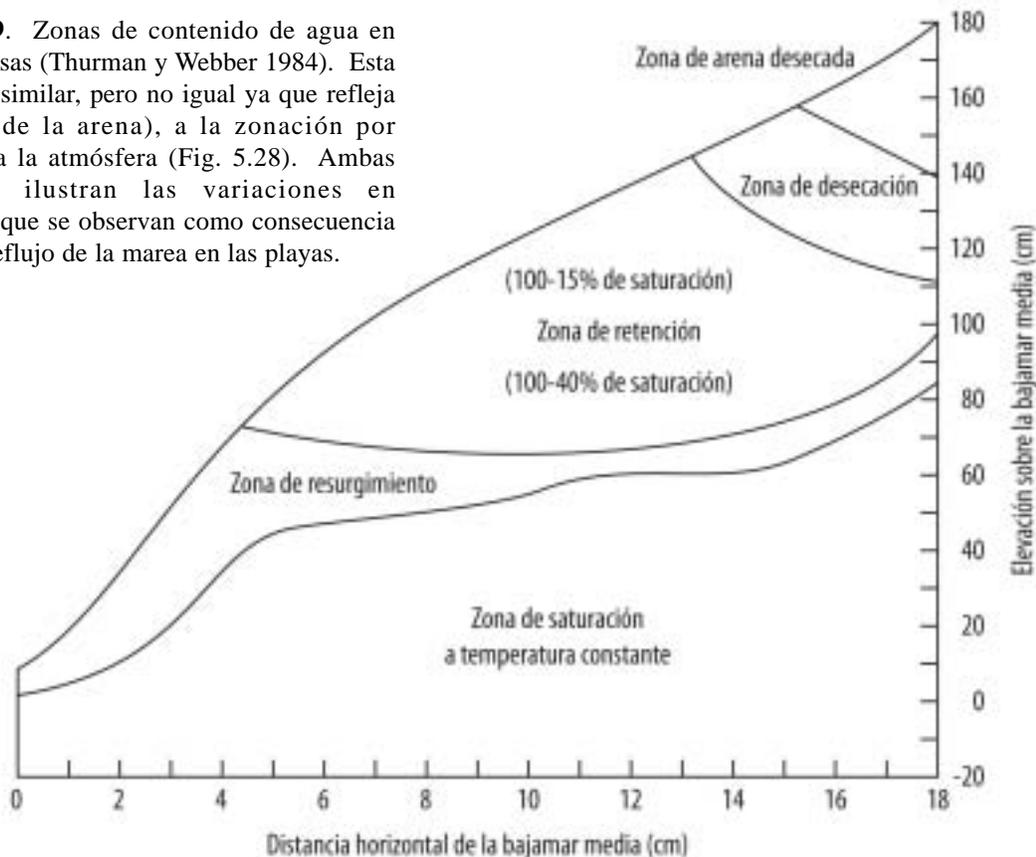


FIGURA 5.30. Relación entre promedio de especies y elevación mareal (Thurman y Webber 1984). El número de especies en la playa aumenta hacia el mar donde las condiciones de exposición son más predecibles.

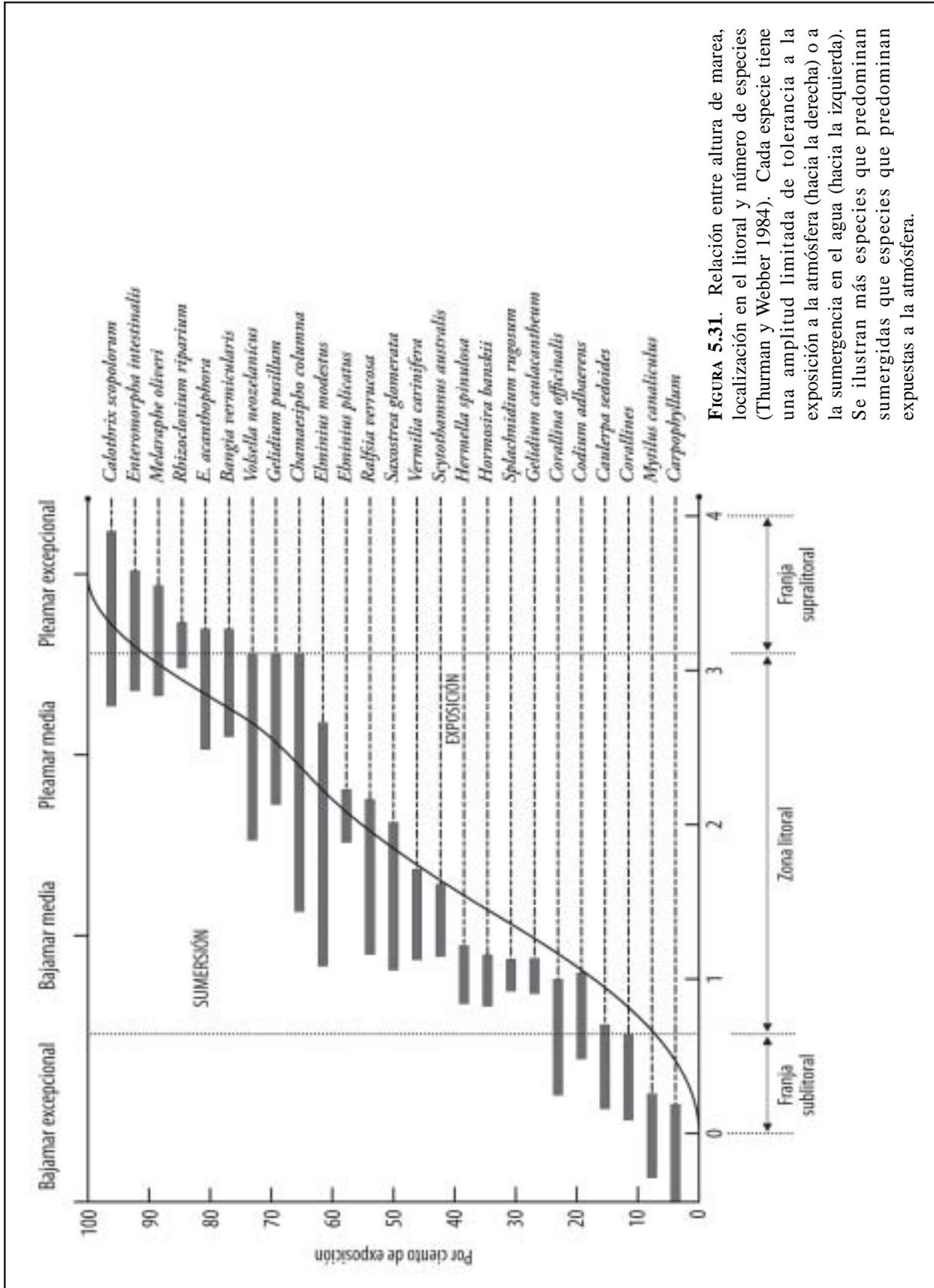
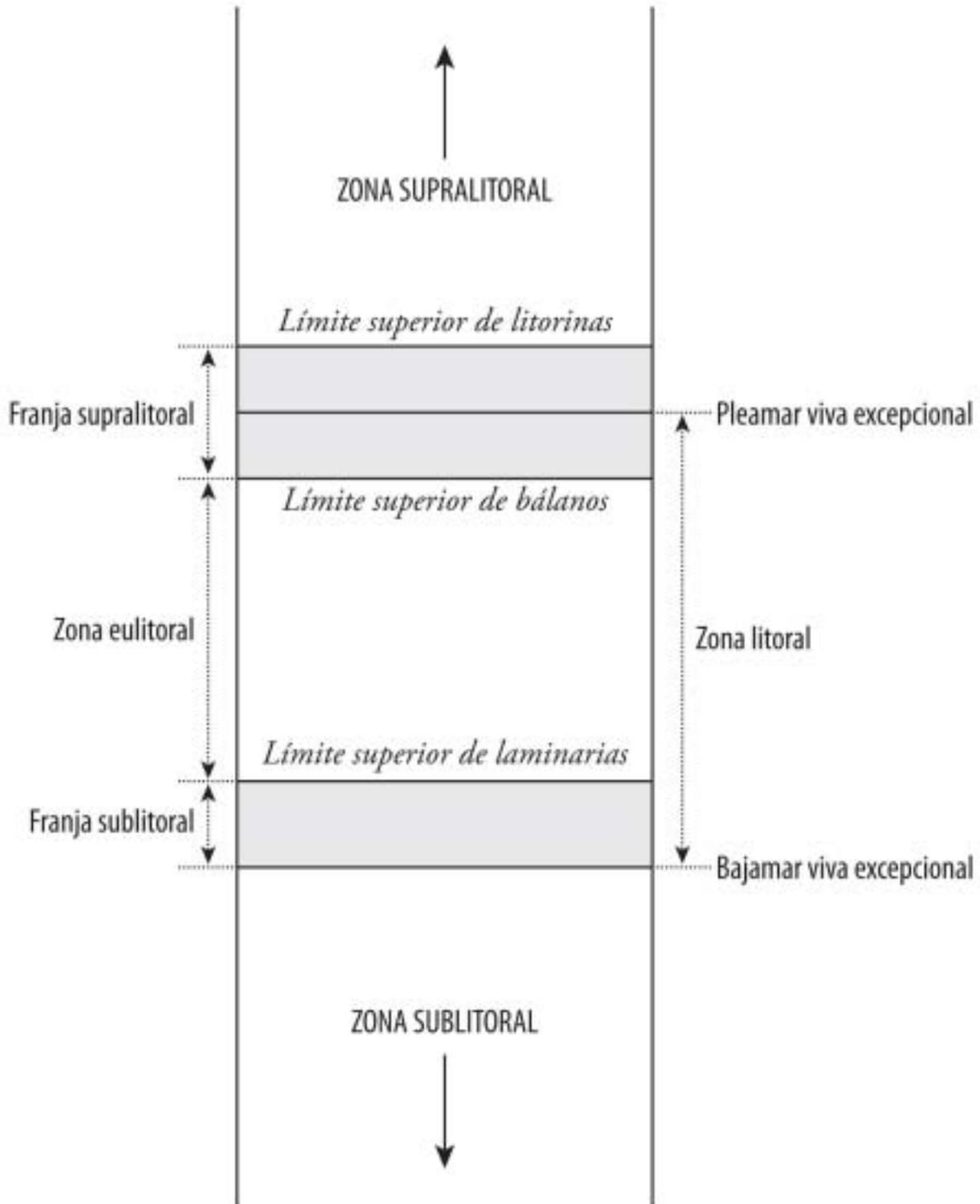


FIGURA 5.31. Relación entre altura de marea, localización en el litoral y número de especies (Thurman y Webber 1984). Cada especie tiene una amplitud limitada de tolerancia a la exposición a la atmósfera (hacia la derecha) o a la sumergencia en el agua (hacia la izquierda). Se ilustran más especies que predominan sumergidas que especies que predominan expuestas a la atmósfera.

FIGURA 5.32. Distribución vertical de especies en el litoral (Thurman y Webber 1984). Las especies dependen de la amplitud de la marea para ubicarse verticalmente de acuerdo a su tolerancia a la sumersión o exposición.



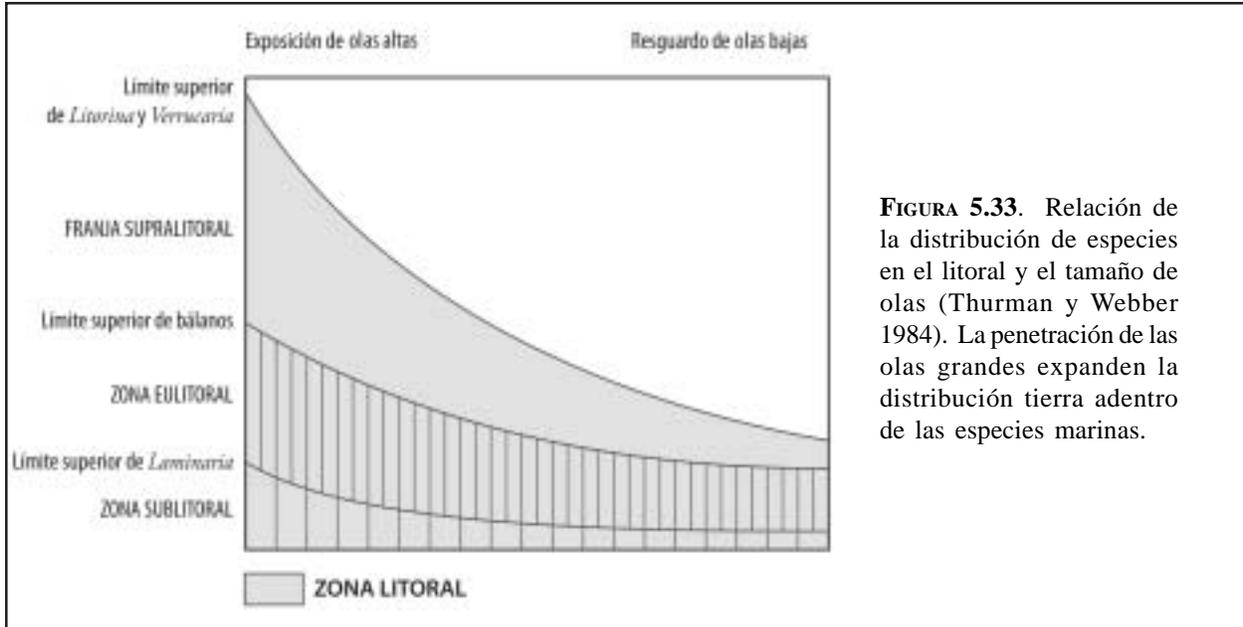


FIGURA 5.33. Relación de la distribución de especies en el litoral y el tamaño de olas (Thurman y Webber 1984). La penetración de las olas grandes expanden la distribución tierra adentro de las especies marinas.

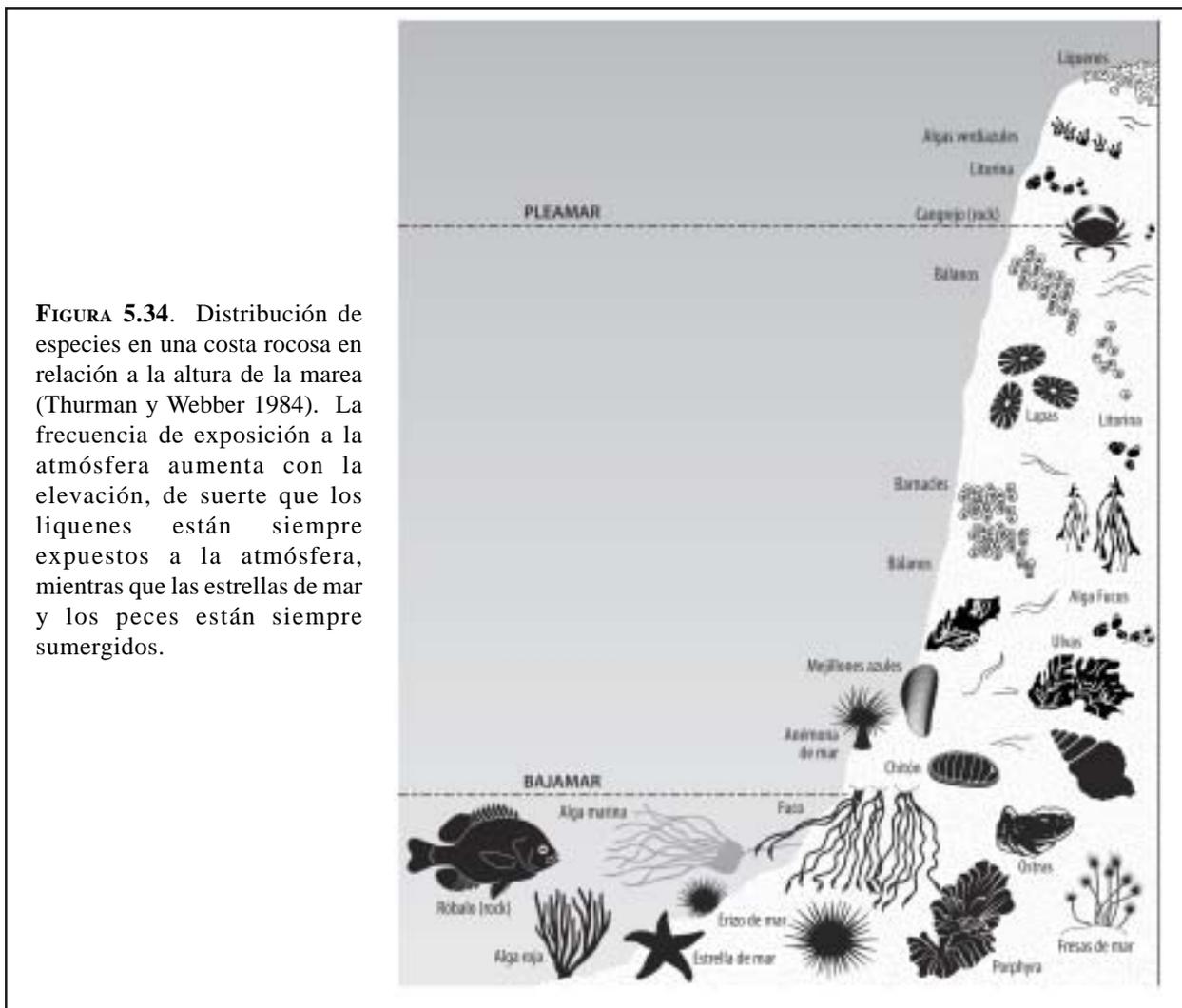
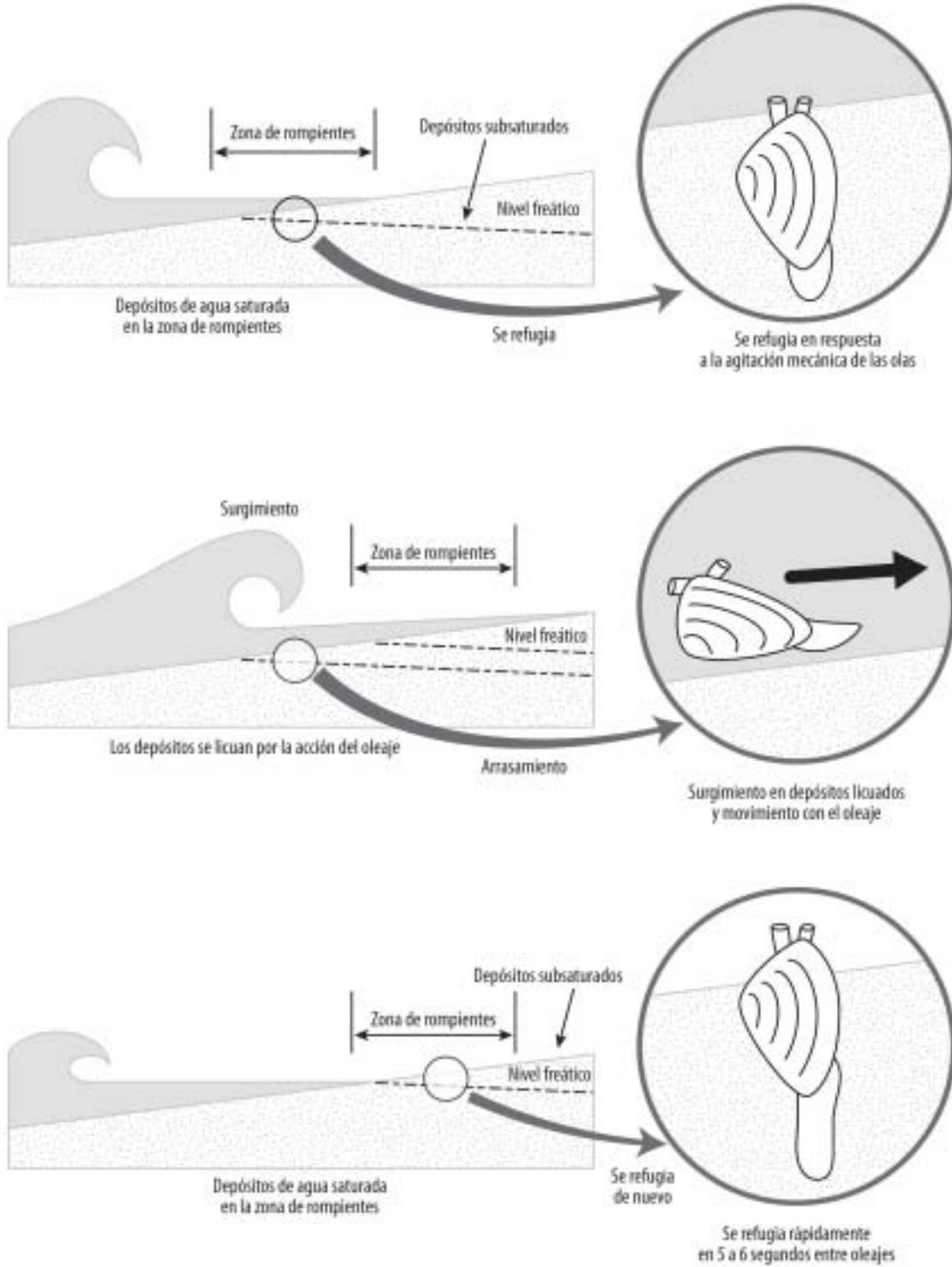


FIGURA 5.34. Distribución de especies en una costa rocosa en relación a la altura de la marea (Thurman y Webber 1984). La frecuencia de exposición a la atmósfera aumenta con la elevación, de suerte que los líquenes están siempre expuestos a la atmósfera, mientras que las estrellas de mar y los peces están siempre sumergidos.

FIGURA 5.35. Mecanismos de movimiento y supervivencia de una almeja en la zona de rompiente de una playa (Thurman y Webber 1984).



ASPECTOS ECOLÓGICOS

¿Cuáles son los ecosistemas naturales de los bienes de dominio público marítimo-terrestre?

Los ecosistemas naturales de los bienes de dominio público marítimo-terrestre, presentados tierra adentro hacia el mar, son ([zmt] identifica los que pertenecen a la zona marítimo-terrestre; el resto son terrenos sumergidos):

- humedales mareales y estuarinos [zmt]
- lagunas costeras [zmt]
- salitrales (marismas) [zmt]
- lodazales [zmt]
- manglares [zmt]
- bosques y matorrales de uva de playa [zmt]
- dunas de arena [zmt]
- playas [zmt]
- sistemas intermareales rocosos [zmt]
- bahías
- hierbas marinas
- arrecifes de coral

¿Cuál es la diferencia entre ecosistema y hábitat?

La palabra ecosistema fue utilizada por primera vez en el 1935 para describir el funcionamiento de los sistemas ecológicos que consisten de la interacción de partes vivas (bióticas) y no vivientes (abióticas) (Allaby 1996). En forma abreviada, un ecosistema es el flujo de energía y materiales a través del elemento viviente y sus actividades (Evans 1956). Un hábitat es el lugar donde vive un organismo o población de organismos con propiedades físicas o bióticas en común (Allaby 1996). El ecosistema se puede ver como un conglomerado de hábitats que están entrelazados entre sí para su funcionamiento ecológico.

ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE

Humedales Mareales y Estuarinos

LAGUNAS COSTERAS

¿Cuántas lagunas hay en Puerto Rico?

En Puerto Rico e islas limítrofes hay 52 lagunas: 23 en la Isla de Puerto Rico, 18 en Vieques, 10 en Culebra y 1 en Culebrita. La mayoría de las lagunas están asociadas a los manglares, como por ejemplo, las lagunas Piñones, Torrecilla, San José y Joyuda. La laguna Tortuguero es una laguna costanera de agua dulce que se alimenta de los acuíferos de la zona kársica, aunque tiene intrusiones de agua de sal periódicas. La laguna Cartagena en la costa sur contiene poca salinidad. En el interior de Puerto Rico hay charcas pequeñas en sumideros sellados. La laguna Guánica, una de las más grandes del país, fue desecada por el gobierno para establecer desarrollos agrícolas que no perduraron y ahora se está considerando restaurarla.

¿Cómo funcionan las lagunas?

Las lagunas almacenan agua de la lluvia y la escorrentía, tornándose menos salinas durante la época de lluvia. Por su localización y capacidad para almacenaje de agua, las lagunas regulan el drenaje, evitan inundaciones en las partes bajas de la costa, y actúan como estanques de sedimentación y filtros reteniendo partículas finas. Por su actividad biológica, las lagunas tienen una función importante en la purificación del agua. Las lagunas son sistemas altamente productivos desde el punto de vista biológico. Muchas especies marinas pasan parte de sus ciclos de vida en las lagunas litorales. Sin embargo, para funcionar adecuadamente, se requiere que las lagunas se mantengan llanas por dos razones: (1) para asegurar el intercambio rápido de sus aguas y así mantener su alta calidad

y (2) para sostener las comunidades de organismos que viven en sus fondos. Cuando se dragan las lagunas y se aumenta su profundidad, las aguas tienden a estancarse y perder su calidad. Los dragados destruyen las comunidades del fondo (comunidades bénticas). El resultado neto es que las lagunas pierden productividad y biodiversidad. El agua de las lagunas se deteriora aún más al removerse la vegetación de sus riberas ya que la vegetación sirve de filtro y amortiguador a las descargas de escorrentías de otros sectores de la cuenca hidrográfica.

¿Por qué son importantes las lagunas costeras?

Las lagunas costeras son importantes por sus funciones ecológicas, hidrológicas y económicas. Ecológicamente, las lagunas albergan una alta diversidad de organismos terrestres, estuarinos y marinos. Producen alimento para consumo en la laguna y otros sistemas ecológicos costeros (Fig. 6.1). Hidrológicamente, las lagunas costeras almacenan agua sirviendo así de amortiguadores de inundaciones y mantienen una alta calidad de agua. Amortiguan también el flujo de materiales (ej., sedimentos) a los sistemas aguas abajo en la costa. Económicamente, las lagunas costeras sostienen pesquerías y atraen actividad turística y recreativa.

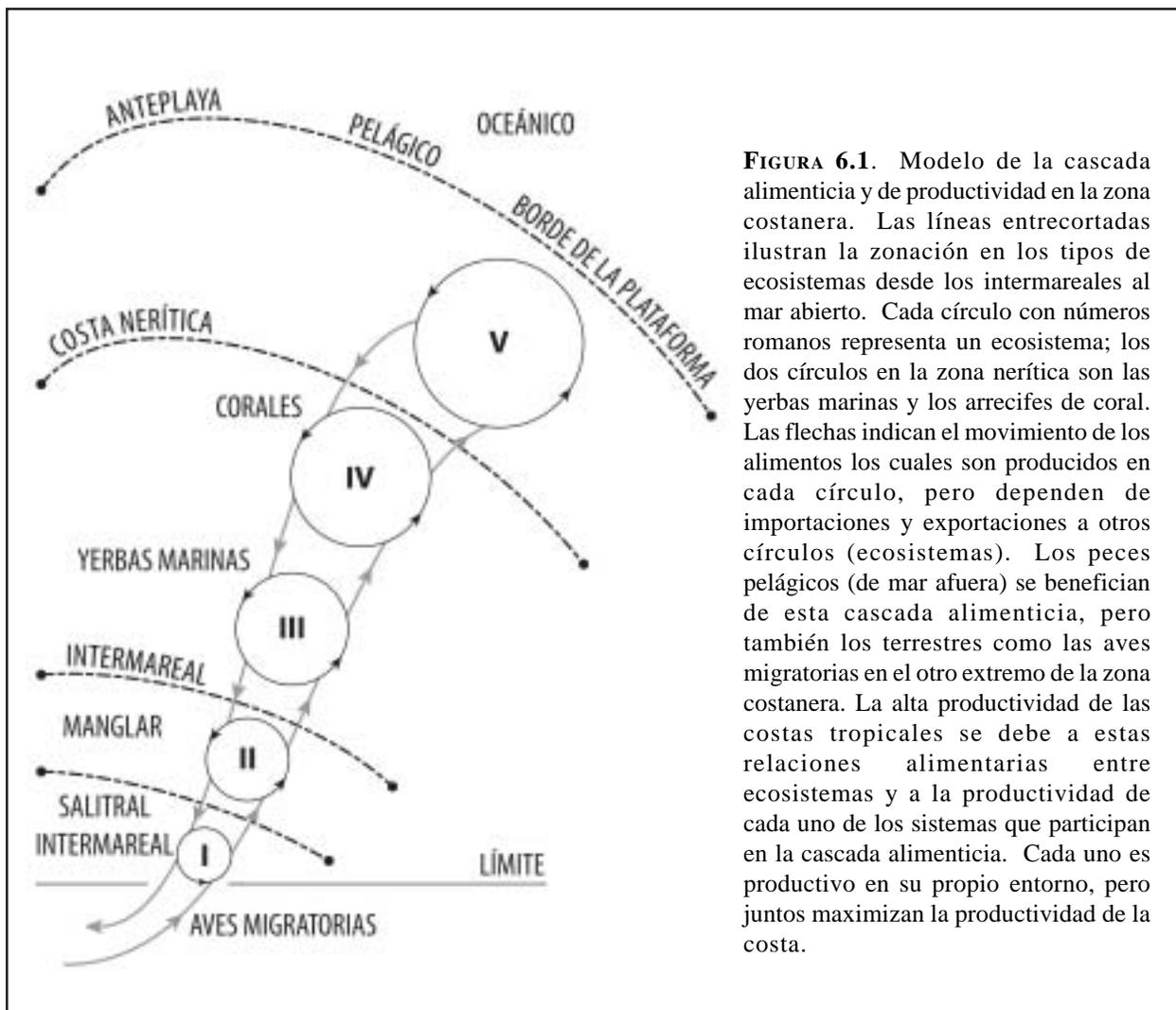


FIGURA 6.1. Modelo de la cascada alimenticia y de productividad en la zona costanera. Las líneas entrecortadas ilustran la zonación en los tipos de ecosistemas desde los intermareales al mar abierto. Cada círculo con números romanos representa un ecosistema; los dos círculos en la zona nerítica son las yerbas marinas y los arrecifes de coral. Las flechas indican el movimiento de los alimentos los cuales son producidos en cada círculo, pero dependen de importaciones y exportaciones a otros círculos (ecosistemas). Los peces pelágicos (de mar afuera) se benefician de esta cascada alimenticia, pero también los terrestres como las aves migratorias en el otro extremo de la zona costanera. La alta productividad de las costas tropicales se debe a estas relaciones alimentarias entre ecosistemas y a la productividad de cada uno de los sistemas que participan en la cascada alimenticia. Cada uno es productivo en su propio entorno, pero juntos maximizan la productividad de la costa.

¿Qué organismos habitan en las lagunas costeras?

Las lagunas costeras están generalmente rodeadas por manglares y otra vegetación típica de humedales costeros. En las lagunas habitan peces y otros organismos estuarinos y marinos. Las aves residentes y migratorias también habitan en estas lagunas. Algunas lagunas albergan organismos bioluminocentes, queriéndose decir que de noche éstos emiten luz cuando se agitan las aguas donde habitan.

¿Qué amenazas ambientales enfrentan las lagunas costeras?

Las construcciones y alteraciones de la corteza terrestre en los alrededores de las lagunas costeras degradan sus aguas, las escorrentías y descargas de aguas usadas contaminan las lagunas. A su vez, los dragados y canalizaciones interrumpen el funcionamiento de estos sistemas y degradan aún más sus aguas.

SALITRALES*¿Cómo funcionan los salitrales?*

Durante una parte del año, el salitral se inunda ya sea de agua dulce cuando la lluvia es excesiva o de agua salada o salobre formando lagunas y charcas. El resto del año el salitral se seca formando terrenos con costras o depósitos de sal. Los salitrales adyacentes al litoral se inundan con las mareas altas pero al bajar la marea se secan por completo.

¿Cómo se forman los salitrales?

Los salitrales son parte de la plataforma intermareal, del ecosistema costero y del manglar. La acumulación de sal causa la muerte del mangle y promueve el crecimiento de plantas halófilas herbáceas. Durante décadas lluviosas o luego de huracanes, los árboles de mangle invaden los salitrales por la reducción de la salinidad.

¿Dónde se encuentran los salitrales en Puerto Rico?

En Puerto Rico los salitrales son comunes a lo largo de la costa sur, Vieques y Culebra; en el área oeste en la costa de Cabo Rojo; y en el área nordeste en Ceiba, Fajardo, Luquillo y Río Grande, aunque en éstos últimos en menor grado. En la costa norte detrás de los manglares del aeropuerto de Carolina hay salitrales muy pequeños en extensión.

¿Por qué son importantes los salitrales?

Los salitrales sirven como áreas de reproducción para algunas especies. El Sapo Concho (*Peltophryne lemur*) una especie en peligro de extinción, es un ejemplo de estas especies ya que se reproduce donde las lluvias fuertes forman charcas de agua en Guánica. Los salitrales también proveen alimento a la avifauna incluso aves migratorias y otra vida silvestre. De los salitrales se obtiene sal para el consumo humano.

¿Qué organismos habitan en los salitrales?

Algunos de los organismos que habitan en los salitrales son plantas halófilas como *Sesuvium portulacastrum*, *Sporobolus virginicus*, *Batis marina*, mangle negro, algas azul verdosas y organismos acuáticos que viven en los sedimentos o en las comunidades de algas azul verdosas. (Los crustáceos del género *Artemia* conforman la base alimentaria de muchos salitrales).

¿Habita algún organismo en peligro de extinción en los salitrales?

El Sapo Concho es una especie en peligro de extinción que se reproduce en charcas sobre los salitrales en la costa sur.

¿Qué amenazas ambientales enfrentan los salitrales?

Entre las amenazas ambientales que enfrenta los salitrales están los rellenos para construcción de hoteles y otra infraestructura. Algunas áreas de salitral han sido destruidas para la

construcción, la ganadería o el cultivo de caña de azúcar (DRNA 2005). En Culebra se rellena con sedimentos dragados del mar.

LODAZALES

¿Qué son lodazales?

El lodazal es un humedal salobre y estuarino asociado al borde tierra adentro de los manglares en lugares llanos del litoral de la Isla donde la precipitación es alta, tales como la costa norte entre Arecibo y Luquillo; la costa este, entre Yabucoa y Naguabo; y la costa oeste, en el área de la bahía de Mayagüez. En lugares protegidos de las bahías se forman lodazales frente al manglar. Estos lodazales quedan descubiertos por las mareas más bajas. La bahía de San Juan tenía importantes lodazales pero la gran mayoría ha sido destruida por las obras portuarias y los dragados para los canales de navegación.

¿Cuáles son los factores ambientales principales en los lodazales?

El lodazal oscila entre estar cubierto por la marea y la salinidad del mar y estar saturado de agua dulce y expuesto a la atmósfera. Por su alto contenido de materia orgánica, los lodazales tienen un problema de aeración, o sea, falta el oxígeno y se tornan anaeróbicos. La falta de oxígeno es estresante para muchos organismos pero favorece a otros.

¿Cómo se forman los lodazales?

Por su alta salinidad, los terrenos de lodozal no son invadidos por plantas no halófilas. El sedimento y la hidrología no son favorables para el manglar ya que queda el lodo expuesto y es colonizado por algas azul verdosas y organismos estuarinos que viven en los sedimentos. Estos organismos taladran los lodos y ayudan a aerarlos creando túneles por donde entra oxígeno. El oxígeno también llega con la marea y las escorrentías de agua dulce.

¿Por qué son importantes los lodazales?

Los lodazales sirven como fuente de alimentación para la vida silvestre ya que son un sistema altamente productivo por la alta cantidad de materia orgánica en los lodos.

¿Qué organismos habitan en los lodazales?

Algas, hierbas marinas, crustáceos, moluscos, anélidos y cangrejos. A estos se le añaden las aves, insectos y otros organismos que visitan los lodazales para su alimentación.

¿Qué amenazas ambientales enfrentan los lodazales?

En muchos sectores los lodazales han sido desecados o rellenados para la construcción, la ganadería o el cultivo (DRNA 2005).

MANGLARES

¿Por qué son importantes los manglares?

Los manglares son importantes por su productividad, almacenaje de carbono, purificación de las aguas, su función como hábitat de vida silvestre, apoyo a las pesquerías, su función como lugar de desove, refugio y hábitat de organismos marinos y estuarinos y la protección de la costa. Los manglares sirven como área de alimentación, apareamiento, anidamiento, descanso y crecimiento para muchas especies de aves, reptiles, decápodos, moluscos y peces (Fig. 6.1 y 6.2).

¿Habita algún organismo en peligro de extinción en los manglares?

El Pelicano Pardo (*Pelecanus occidentalis*) es un ejemplo de un organismo en peligro de extinción que habita en o depende de los manglares.

¿Qué amenazas ambientales enfrentan los manglares?

Los manglares enfrentan amenazas tales como la deforestación, rellenos, desvío de sus

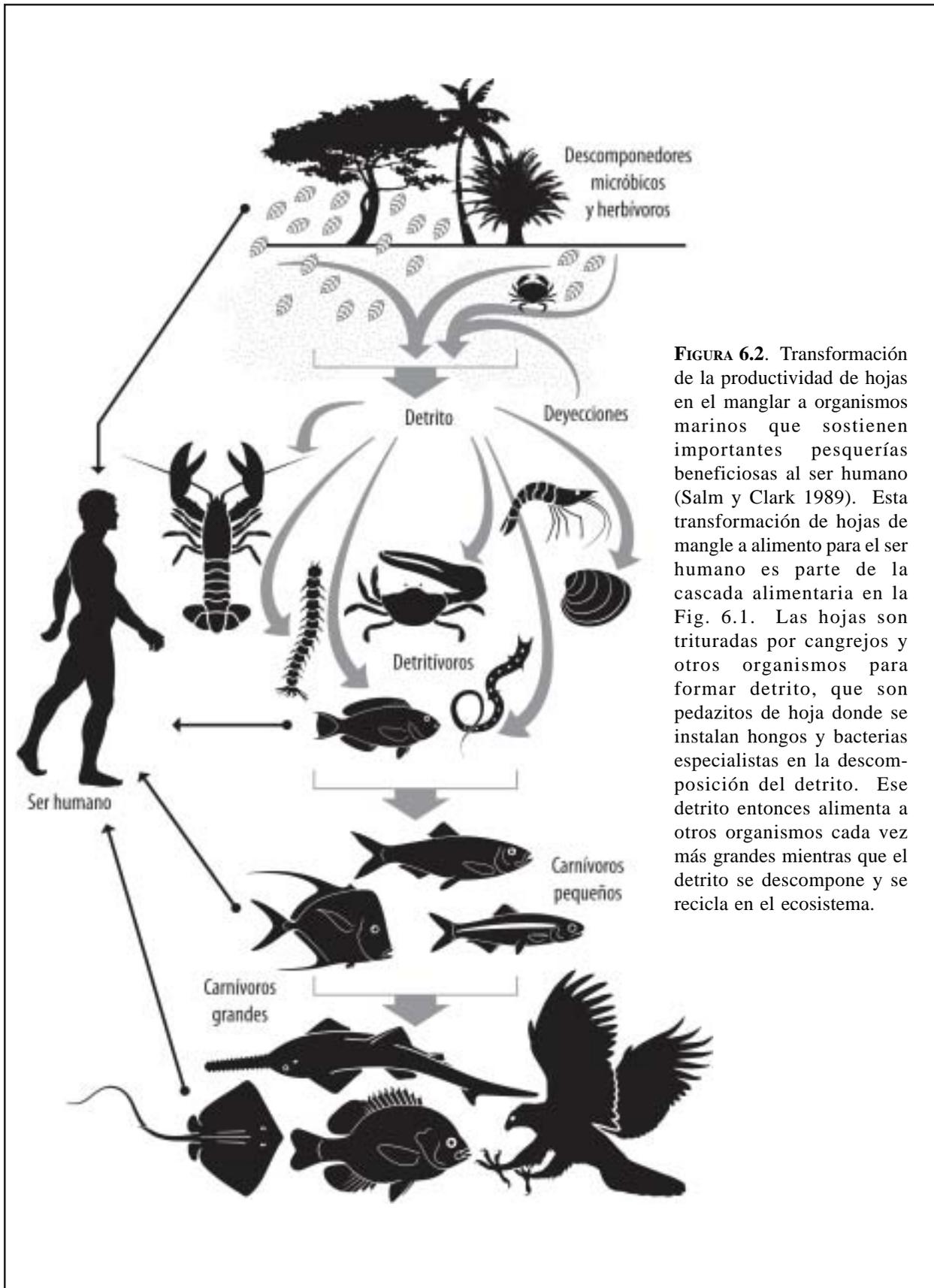


FIGURA 6.2. Transformación de la productividad de hojas en el manglar a organismos marinos que sostienen importantes pesquerías beneficiosas al ser humano (Salm y Clark 1989). Esta transformación de hojas de mangle a alimento para el ser humano es parte de la cascada alimentaria en la Fig. 6.1. Las hojas son trituradas por cangrejos y otros organismos para formar detrito, que son pedacitos de hoja donde se instalan hongos y bacterias especialistas en la descomposición del detrito. Ese detrito entonces alimenta a otros organismos cada vez más grandes mientras que el detrito se descompone y se recicla en el ecosistema.

escorrentías, conversión a hoteles y otras construcciones y contaminación de las aguas.

¿Qué efecto tienen los mangles en la zona marítimo-terrestre?

Los mangles son parte de la zona marítimo-terrestre y la costa como tal y absorben los embates del mar. En su sistema de raíces los mangles atrapan y fijan sedimento estabilizando la costa y contribuyendo al crecimiento de la misma.

¿Es buena idea construir en un área de mangles?

Las áreas de manglares son áreas que por su naturaleza son inundables. Por más que se rellenen estas zonas siempre estarán en riesgo de ser inundadas. En la zona metropolitana de San Juan se inundan consistentemente regiones en Puerto Nuevo, Hato Rey y Santurce donde se rellenaron manglares para construir viviendas e infraestructura. Más aún, los sedimentos de los manglares se licuan en caso de terremoto. Por ende, construir en áreas donde existan o hayan existido mangles es arriesgado y podría ser peligroso para la propiedad y la vida humana.

Otros Humedales

¿Qué otros humedales se encuentran en la costa y zona marítimo-terrestre?

Hay una variedad de especies que forman humedales costeros muchas veces asociados con condiciones estuarinas. Por ejemplo, los bosques de *Pterocarpus officinalis* (palo de pollo) y de *Annona glabra* y los humedales de herbáceas como la *Typha* y otras herbáceas que forman pastizales inundables. Estos humedales se encuentran en las costas húmedas de Puerto Rico.

¿Por qué son importantes estos humedales?

Estos humedales ejercen todas las funciones ecológicas, hidrológicas y económicas que caracterizan a los humedales. Por ejemplo, desde el punto de vista ecológico estos humedales son

parte de la cadena alimenticia de toda la costa, produciendo y exportando alimentos para organismos marinos y estuarinos (Fig. 6.1). Estos humedales también enriquecen la biodiversidad de todo el complejo costanero. Hidrológicamente, los humedales almacenan agua y remueven contaminantes y nutrientes, mejorando así su calidad. Económicamente, los humedales sostienen actividades comerciales en la costa como la pesca, la recreación y el turismo.

¿Qué organismos habitan en estos humedales?

En estos humedales convive una mezcla de organismos estuarinos de humedales de agua dulce, por ejemplo, la convivencia de manglares, *Typha* y palo de pollo. Recientemente se descubrió una nueva especie de coquí, el Coquí Llanero, en uno de estos humedales en Sabana Seca, en la costa norte de Puerto Rico.

¿Qué amenazas ambientales enfrentan los humedales?

Estos humedales no tienen la protección legal que tienen los manglares y como consecuencia son susceptibles a los rellenos para construcciones. También se pueden ver afectados por la contaminación de escorrentías y descargas de aguas usadas.

Bosques y Matorrales

¿Cuáles son los bosques y matorrales costaneros en la zona marítimo-terrestre?

Los bosques principales en la zona marítimo-terrestre son los bosques de uva de playa (*Coccoloba uvifera*). Aunque otras especies arbóreas conviven con la uva de playa, la especie dominante y la principal especie arbórea costera en Puerto Rico es la uva de playa.

¿Cuál es la diferencia entre un bosque y un matorral?

La diferencia es poca, particularmente en las costas de Puerto Rico. La diferencia tiene que ver con el tamaño y la densidad de la vegetación.

La vegetación en los matorrales es achaparrada y tupida en parte por el embate del viento. Además, crecen en lugares con poco suelo y por lo tanto pocos nutrientes y humedad. Tierra adentro, el embate del viento no es tan significativo, los suelos son más profundos y los árboles crecen más altos y con mayor diámetro y menos densidad. Algunas especies, como la uva de playa, pueden crecer como matorrales, arbustos achaparrados o árboles altos. Otras especies no tienen esa capacidad.

¿Y los cocales, no son acaso la vegetación dominante de nuestras costas?

Los cocales (palmares) de *Cocos nucifera* son comunes en las playas y dunas de arena de Puerto Rico. Sin embargo, son plantaciones abandonadas de una especie introducida y **naturalizada** en Puerto Rico con propósitos económicos. Para establecer los cocales, se deforestó la costa y se eliminaron los bosques nativos que allí habitaban. Otro árbol común en las playas y Zona Marítimo-Terrestre en Puerto Rico es el almendro (*Terminalia catappa*). El almendro es una especie naturalizada, es decir, no es nativa, pero se ha adaptado a las condiciones de Puerto Rico y se reproduce naturalmente.

¿Por qué son importantes los bosques y matorrales?

Los bosques y matorrales son importantes ecológicamente por constituir vegetación permanente sobre suelos potencialmente erosionables por el viento. Estos sistemas son parte del paisaje visual, incrementa la calidad visual del paisaje total y proveen oportunidades para recreación costanera ya que su dosel provee sombra y es posible establecer veredas recreativas y educativas. Además tienen el potencial de amortiguar o reducir el riesgo natural de los oleajes de tormenta u olas extraordinarias. Es decir, sirven de agente amortiguador entre los procesos naturales de las áreas inmediatas a la orilla del mar y los procesos sociales. Los bosques y matorrales de la costa ocupan terrenos o zonas de alto o muy alto riesgo para urbanizar o desarrollar. Sin embargo, constituyen un

elemento de importancia para adecuar las antiguas servidumbres si se reconfiguraran en servidumbres de protección que se pueden incorporar en la planificación como partes de medidas de protección no-estructurales de manera que se reduzcan riesgos y daños en la costa. Esta estrategia actúa como un seguro que ofrece dividendos adicionales por su contribución estética y biológica. Las aves utilizan estos bosques para anidar y alimentarse. La estructura de estos sistemas ofrecen más alternativas para sostener una biodiversidad más alta.

¿Qué organismos habitan en los bosques y matorrales?

La especie principal es la uva de playa, pero las especies leñosas mencionadas más adelante como el hicaco para las playas y dunas de arena también crecen en los bosques y matorrales costeros. Palomas y aves costeras todas utilizan estos bosques. El trabajo de Gleason y Cook (1926) contiene listas de especies para los bosques y matorrales costeros de Puerto Rico.

¿Qué amenazas ambientales enfrentan los bosques y matorrales?

Estos sistemas son deforestados para construcciones o por el tráfico de vehículos o peatonal. Un ejemplo reciente es la destrucción de estos bosques en el municipio de Dorado. Hay propuestas para deforestaciones similares en Luquillo. Además, están sujetos a los procesos naturales de daños por el viento (tormentas) y la erosión marina.

Dunas de Arena

¿Por qué son importantes las dunas de arena?

Las dunas de arena sirven como barreras protectoras contra marejadas, huracanes y tsunamis. Durante eventos menos extremos, también evitan que la arena y el agua penetren al interior de la zona costanera.

¿Cuáles son los factores ambientales más importantes en la duna de arena?

La duna de arena es un ambiente hostil para los organismos. Las temperaturas del substrato son elevadas; el viento deseca la vegetación y mueve la arena; la arena no retiene agua ni contiene nutrientes, causándole estrés a las plantas; el viento contiene salitre que también impacta la vegetación. Todos estos factores estresantes causan que la distribución de la vegetación y los animales sea en zonas correspondientes a donde la tolerancia de las especies les permite ubicarse en el gradiente de intensidad de factores ambientales.

¿Cuál es la flora de las dunas de arena de Puerto Rico?

Las plantas herbáceas dominan las dunas de arena aunque también se encuentran líquenes, briófitas y especies leñosas como la uva de playa. Ejemplos de la flora de las dunas de arena de Puerto Rico son:

¿Qué funciones tiene la flora de las dunas de arena?

Las dunas comienzan a formarse mediante la acumulación de arena sobre algún obstáculo. Las raíces y tallos subterráneos de las plantas forman redes que estabilizan la arena acumulada y retienen humedad. Las plantas de las dunas de arena son rastreras y tienen la capacidad de crecer horizontalmente y desarrollar un ramaje entrelazado acelerando así la inmovilización de la arena y la estabilización de la duna de arena. Cuando los tallos son sepultados por las arenas, éstos tienen la capacidad de acelerar el crecimiento vertical y así mantenerse en la superficie de la duna de arena. Cuando la vegetación cubre la duna de arena, reduce el impacto del viento y la capacidad de mover y erosionar la arena. El resultado es que al estabilizar el suelo la duna de arena evita la entrada de arena a otros terrenos útiles y los protege contra el viento y salitre. Las raíces y tallos subterráneos de las plantas son la fuente de agua para muchos animales. La acumulación de materia orgánica de las plantas ayuda a reducir

Nombre Científico	Nombre Común
<i>Especies Leñosas</i>	
<i>Chrysobalanus icaco</i>	hicaco
<i>Thespesia populnea</i>	caraña o jaqueca
<i>Hippomane mancinella</i> ^a	manzanillo
<i>Especies Herbáceas</i>	
<i>Melanthera aspera</i>	salaílo
matojo de brujas	
<i>Scaevola plumieri</i>	borbón o coralillo
<i>Mallotonia gnaphalodes</i>	lavanda de mar
<i>Suriana marítima</i>	temporana
<i>Borrichia arborescens</i>	clavelón de playa
<i>Especies Leñosas Introducidas</i>	
<i>Cocos nucifera</i>	palma de coco
<i>Casuarina equisetifolia</i>	pino australiano
<i>Terminalia catappa</i>	almendro
<i>Cynodon dactylon</i> *	grama o hierba de Bermudao pelo de negra o de bruja

^aesta especie fue casi erradicada durante la época española.

*especie herbácea.

el estrés por falta de nutrientes y de agua. La acumulación de materia orgánica concentra nutrientes y ayuda a conservar la humedad.

¿Cuál es la fauna de las dunas de arena de Puerto Rico?

En la fauna de las dunas de arena de Puerto Rico podemos encontrar al cobito de tierra (*Coenobita clypeatus*) y al juey de tierra azul (*Cardisoma guanhumi*). Además abundan los invertebrados como los artrópodos, arañas e insectos.

¿Habita algún organismo en peligro de extinción en las dunas de arena?

No es probable que haya especies en peligro de extinción en las dunas pues son sistemas cuya gran resiliencia se atribuye al rápido crecimiento o el reclutamiento de individuos de áreas adyacentes.

¿Cómo almacenan agua las dunas de arena?

La lluvia que percola por la duna de arena se almacena en un lente de agua dulce que flota sobre el agua de mar que pasa por debajo de la duna de arena y comunica al mar con los manglares detrás de las dunas de arena en la costa norte de Puerto Rico. Ese lente de agua dulce sirve como fuente de agua para el ecosistema de la duna de arena y para la gente de la costa que lo utiliza como un acuífero local. El lente de agua dulce exhibe cambios en su nivel en respuesta a la marea. Es por eso que se puede medir la marea debajo de las dunas de arena (Ranwell 1972).

¿Qué amenazas enfrentan las dunas de arena?

Las dunas en Puerto Rico y su biota (flora y fauna) han sido alteradas y afectadas por la extracción de arena, las construcciones y desarrollos, el paso de vehículos de campo traviesa, el tránsito peatonal y la entrada del mar (DRNA 2005).

Playas

¿Cuál es la flora de las playas de Puerto Rico?

Las especies varían de acuerdo al tipo de playa y su clima. Ejemplos de la flora de las playas en Puerto Rico.

Nombre Científico	Nombre Común
<i>Canavalia marítima</i>	haba de playa
<i>Ipomoea pes-caprae</i>	bejuco de playa
<i>Ipomoea stolonifera</i>	bejuco de costa
<i>Spartina patens</i>	hierba de sal
<i>Sporobolus virginicus</i>	matojo de playa
<i>Cakile lanceolata</i>	mostacilla de mar
<i>Helioropium carassavicum</i>	cotorrera de playa
<i>Sesunium portucastrum</i>	verdolaga rosada
<i>Coccoloba uvífera</i>	uva de playa
<i>Cocos nucifera</i>	palma de coco
<i>Suriana marítima</i>	temporana

¿Cuál es la importancia de la flora de una playa?

Durante las marejadas y el invierno, cuando las olas son más grandes y tienen mayor impacto sobre la playa alta, la vegetación se destruye parcial o totalmente, pero se reestablece rápidamente, ayudando así a restaurar el volumen de arena perdido durante el evento. Sin la flora, el ciclo de arena en la playa no sería posible y la erosión costera sería mucho mayor.

¿Cuál es la fauna de las playas de Puerto Rico?

Ejemplos de la fauna de las playas de Puerto Rico y su zonación en la playa se representan en la tabla 6.1. Los crustáceos son un elemento dominante de esta fauna, pero también se pueden encontrar restos de equinodermos, moluscos y gastrópodos.

¿Habita en las playas algún organismo en peligro de extinción?

Aunque no habitan allí permanentemente, las tortugas marinas amenazadas (*Chelonia mydas*) y en peligro de extinción (*Eretmochelys imbricata* y *Dermochelys coriacea*) llevan a cabo su

TABLA 6.1. Zonación de organismos en las playas arenosas de Puerto Rico (DRNA 2005, Cerame Vivas 2000, García Ríos 2005). El nombre común esta en paréntesis.

Grupo de Organismos	Nombre Científico	Habitat
Crustáceo decápodo	<i>Ocypode quadrata</i> (Jueyita o Juey Fantasma del Atlántico)	Cerca del talud de la duna de arena, parte alta de la terraza. Llega al mar.
Crustáceo isópodos	<i>Cirolana</i> (Cucarachas blancas o Alemanas)	Cerca del talud de la duna de arena, parte alta de la terraza.
Moluscos bivalvos. Almejas	<i>Donax dentriculatus</i> (Chipe)	Litoral
Crustáceos decápodos	<i>Emerita portoricensis</i> (Ratón de Mar) y <i>Hippa cubensis</i> (Ratón de Mar)	Litoral
Crustáceos decápodos cangrejitos	<i>Lepidopa scutellata</i> (Ratón de Mar) <i>Lipidopa venusta</i> <i>Albunea gibbesii</i> (Ratón de Mar)	Litoral superior
Gastrópodo Equinodermos equinoideos, erizos achatados (escutélidos)	<i>Terebra cinerea</i> <i>Mellita lata</i> (Dólar de Arena) <i>Mellita sexiesperforata</i> (Dólar de Arena)	Litoral superior Sublitoral
Equinodermos astéridos	<i>Astropecten antillensis</i> (Estrella de Mar) <i>Luida senegalensis</i>	Sublitoral
Crustáceos decápodos Portúnidos-cangrejos nadadores	<i>Arenaeus cribarius</i> (Cocolía de Arena)	Nadan a la zona de rompiente.
Crustáceos decápodos Portúnidos-cangrejos nadadores	<i>Callinectes ornatus</i> (Cocolía)	Nadan a la zona de rompiente.
Crustáceo decápodo	<i>Ocypode albicans</i> (Juey o Cangrejo Fantasma Blanco)	Playa alta, se alimenta en la zona intermareal.
Crustáceo anfípodo	<i>Talorchestia</i> (Piojos de Mar)	Concentraciones de algas y yerbas marinas en la zona de acumulación de marea alta.

anidamiento y primeras etapas de vida en las playas. Esta etapa es crítica ya que los huevos incubando y las crías se encuentran enterradas en los primeros uno a dos metros de arena de la superficie. La vegetación costera compone un importante rol en la regulación de la temperatura de la arena lo cual afecta el tiempo de incubación y la tasa de sexo de las crías. A temperaturas más altas se producen más hembras que machos en el nido.

¿Qué amenazas enfrentan las playas?

Las amenazas más significativas que enfrentan las playas son: deforestación de vegetación costera, erosión costanera, construcciones y desarrollos mal ubicados, contaminación por escorrentías, descargas de aguas usadas y basura de actividades recreativas y aumento en el nivel del mar debido al calentamiento global.

Sistemas Intermareales Rocosos

¿Cuál es la flora de las costas rocosas puertorriqueñas?

Esta flora incluye matorrales de herbáceas, arbustos leñosos y en el sur de la Isla, en Vieques y en Culebra también incluye suculentas espinosas y cactus. Ejemplos de la flora de las costas rocosas de Puerto Rico son:

Nombre Científico	Nombre Común
<i>Ipomoea pescaprae</i>	bejuco de playa
<i>Fimbristylis spadicea</i>	junco de costas
<i>Spartina patens</i>	hierba de sal
<i>Conocarpus erectus</i>	mangle botón
<i>Gundlachia corymbosa</i>	sereno o tea
<i>Borrichia arborescens</i>	clavelón de playa
<i>Suriana maritiana L.</i>	temporana

En la costa sur, en Vieques y Culebra

<i>Opuntia rubescens</i>	tuna de petate o de yagua
<i>Cactus intortus</i>	cacto entuertoerizo
<i>Cephalocereus royenii</i>	dildo o sebucán
<i>Lemaireocereus hystrix</i>	dildo español
<i>Anthacanthus spinosus</i>	espinosa

¿Cuál es la fauna de las costas rocosas puertorriqueñas?

La lista incluye isópodos terrestres y caracoles. La zonación de estos organismos se ilustra en la tabla 6.2 y ejemplos de la fauna de las costas rocosas de Puerto Rico son:

TABLA 6.2. Zonación de organismos marinos en las costas rocosas de Puerto Rico con énfasis en los gastrópodos (Cerame Vivas 2000). El nombre común está en paréntesis.

Grupo de Organismos	Nombre Científico	Habitat
Molusco gastrópodo	<i>Nerita tessellata</i> (Nerita Negra)	Litoral
Molusco gastrópodo	<i>Nerita versicolor</i> (Nerita de Colores)	Zona de chapoteo
Molusco gastrópodo	<i>Nerita peloronta</i> (Nerita de Diente Sangrante)	Zona de salpicoteo
Molusco gastrópodo	<i>Littorina ziczac</i> (Zigzag)	Zona de aerosoles
Molusco gastrópodo	<i>Nodilittorina tuberculata</i> (Litorina Ceniza)	Zona seca
Molusco gastrópodo	<i>Tectarius muricatus</i> (Tectario Blanco)	En lo más alto y seco
Crustáceo decápodo	<i>Grapsus grapsus</i> (Jueyita)	Todas las zonas

Nombre Científico	Nombre Común
<i>Quitones</i>	cucarachas blancas o alemanas
<i>Sesarma</i>	jueyitas de pantano
<i>Cyclograpsus integer</i>	juey de orillas
<i>Gecarcinus lateralis</i>	juey de tierra prieto
<i>Coenobita clypeatus</i>	cobo de tierra
<i>Cardisoma guanhumi</i>	juey de tierra azul
<i>Nerita peloronta</i>	nerita sangrante
<i>Nerita versicolor</i>	nerita cintanegra
<i>Littorina ziczac</i>	caracol litoralino cebra
<i>Nodolittorina tuberculata</i>	litoralino espinoso
<i>Tectanus muncatus</i>	litoralino granulado
<i>Truncatella pulchella</i>	caracol truncadito lindo
<i>Melampus coffeus</i>	melampio café
<i>Melampus bidentatus</i>	melampio bidentado
<i>Cittarium pica</i>	Bbulgao

¿Qué amenazas enfrentan las costas rocosas?

Las amenazas principales a las costas rocosas son la erosión costanera, construcciones y desarrollos mal ubicados, creación de playas, el calentamiento global (aumento en el nivel del agua) y derrames de petróleo o sustancias bituminosas que forman costras o son tóxicas a los organismos.

Bahías

¿Por qué son importantes las bahías?

Las bahías son de importancia para el tráfico y el comercio marítimo y para proteger las embarcaciones durante periodos de tormenta. Quizás las características más importantes de las bahías son el grado de protección que ofrecen y su profundidad, las bahías más importantes son las más protegidas (cerradas) y profundas. Las bahías como la de San Juan, Mayagüez y Ponce representan los bastiones económicos principales del comercio en el país. Ecológicamente las bahías proveen acceso a los

estuarios a las especies marinas y viceversa, acceso al mar a las especies estuarinas. Las bahías reciben las escorrentías y materia orgánica que se originan en sistemas terrestres y estuarinos tierra adentro. Las bahías son generalmente desembocaduras de ríos o parte de llanuras de inundación y proveen para el drenaje rápido de grandes volúmenes de agua luego de lluvias torrenciales.

¿Qué organismos habitan en las bahías?

La vegetación principal en las bahías son las **algas planctónicas** y hierbas marinas en los fondos bien iluminados. Los fondos de las bahías albergan una alta diversidad y cantidad de organismos marinos. Por ser sistemas semi-cerrados y sujetos a aportes de nutrientes las bahías alcanzan niveles de productividad más altas que la del mar. En las aguas de las bahías abundan los peces. En el pasado la pesca comercial era una actividad de importancia particularmente para la captura de especies como sardinas usadas para la pesca en alta mar.

¿Qué es un alga?

Un alga es cualquiera de las plantas **talófitas**, unicelulares o pluricelulares, que viven de preferencia en el agua dulce y marina y que en general están provistas de clorofila, acompañada a veces de otros pigmentos de colores variados que la enmascaran (Real Academia Española 2001). Las algas marinas pueden ser microscópicas y planctónicas o macroscópicas. Las algas macroscópicas son bénticas (se anclan al fondo), se parecen más a la vegetación terrestre formando mantos en sustratos rocosos. Las algas son importantes componentes de la comunidad arrecifal pero los fondos arenosos o fangosos usualmente están menos cubiertos de estos mantos. En general estas especies tienen tolerancias bastante limitadas en cuanto a los factores ambientales aunque las especies que colonizan las costas rocosas resisten el embate del oleaje y exposición periódica.

¿Que es una talófito?

Una talófito es cualquier grupo de plantas u organismos con apariencia de plantas como las algas y los hongos, que carecen de tallos, hojas y raíces.

¿Qué es un alga planctónica?

Plancton se refiere a organismos microscópicos suspendidos en el agua de mar. Las algas planctónicas están suspendidas en el agua de mar en contraste a las algas de mayor tamaño que pueden estar ancladas en o adheridas a los fondos en los arrecifes de coral. Las algas planctónicas usualmente son microscópicas pero forman grandes masas de fitoplancton que se pueden observar desde el aire.

¿Qué amenazas ambientales enfrentan las bahías?

Las bahías se sedimentan con descargas de sedimentos procedente del mal uso de los suelos tierra adentro. Al sedimentarse, las bahías sufren daños ecológicos en forma de mortalidad de hierbas marinas y sofocación de los organismos en los fondos. La sedimentación de la bahía afecta el comercio pues limita la entrada de embarcaciones de alto calado. Dragar bahías conlleva un alto costo, que se podría reducir con un mejor uso de los suelos tierra adentro y el amortiguamiento de sus cuencas. La descarga de nutrientes a cuerpos de agua semi-cerrados ocasiona su **eutrofización** y puede dar lugar a concentraciones masivas de fitoplancton que se allegan a impartir color a la masa de agua. Estos eventos se conocen como mareas rojas.

¿Qué es eutrofización?

La eutrofización es el enriquecimiento de las aguas con nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. La eutrofización favorece el crecimiento de algas lo cual contribuye a reducir la transparencia del agua. El resultado en regiones de arrecifes de coral es menor productividad de los corales y acaparamiento de espacio por las algas.

TERRENOS SUMERGIDOS Y AGUAS TERRITORIALES

Hierbas Marinas

¿Qué es una hierba marina?

Una hierba marina o pasto marino está compuesto de una planta vascular, que produce flores y frutos, adaptada a vivir en el ambiente marino capaz de formar extensas praderas.

¿Una hierba marina es un tipo de alga?

Una hierba marina no es un tipo de alga. Las hierbas marinas tienen hojas, tallos y raíces.

¿Qué es Thalassia?

La Thalassia es el género de una de las especies de hierba marina más común y de mayor importancia en Puerto Rico donde forma extensas praderas o pastizales en sustratos arenosos o fango-arenosos. Entre las fanerógamas marinas presentes *Thalassia testudinum* es la más abundante y da su nombre a ese tipo de hábitaculo o ecosistema. Se le conoce como hierba de tortuga dado a que la tortuga marina herbívora, el peje blanco (*Chelonia mydas*) se alimenta de ellas. La *Thalassia* es más abundante en zonas de arena o fango relativamente llanas, de salinidad marina, bien iluminadas y de baja energía. Este hábitat se conoce por su alta productividad fotosintética que se afecta según se reduce la transparencia del agua. *Thalassia* no resiste por mucho tiempo las fuertes marejadas o exposición a mareas muy bajas durante las horas del día. La profundidad en que se desarrolla, y su grado de desarrollo depende de la transparencia del agua. Generalmente requiere buena iluminación y aún en aguas de buena transparencia no forma praderas a profundidades mayores de los 15 metros. Otras especies de hierba marina que componen este hábitat son la hierba de manatí (*Syringodium filiforme*) y *Halodule wrightii*.

¿Cuál es la importancia de las praderas de hierba marina?

Además de servir de albergue y de fuente alimenticia a especies en peligro de extinción (ej., manatí y peje blanco) y de importancia económica (ej., langosta, carrucho y peces), las praderas de hierbas marinas ayudan a retener el sedimento proveniente de la tierra y ayudan a mantener la calidad óptica del agua. Los huracanes y fuertes oleajes pueden causar la destrucción de los pastos marinos porque se combina la acción del oleaje con fuertes corrientes y la propia acción abrasiva de la arena y pedazos de roca coralina desalojados de los arrecifes. Las acumulaciones de hojas arrancadas pueden alcanzar hasta más de un metro en la orilla. Estas acumulaciones por casualidad forman diques que sirven para disipar el oleaje y reducir la erosión.

¿Qué amenazas enfrentan las hierbas marinas?

La amenaza principal que enfrentan las hierbas marinas es la actividad humana. Algunas de estas actividades son extracción de arena, dragados, anclajes indebidos, impactos por hélices de embarcaciones o encallamientos, construcciones en la costa, escorrentías, descarga de químicos industriales y descarga de aguas usadas (DRNA 2004). Debido al requerimiento de alta iluminación para la fotosíntesis este hábitat, al igual que el arrecife de coral, es extremadamente vulnerable a la eutrofización de las aguas costeras por el vertido de nutrientes o el aumento en la cantidad de materiales finos que resuspendidos en el agua reducen la transparencia de la misma. Las aguas eutróficas se tornan turbias y la sedimentación y resuspensión de materiales finos reduce aún más la transparencia y penetración de la luz afectando así la productividad de las hierbas marinas.

Arrecifes de Coral

¿Qué es un arrecife de coral?

Un arrecife de coral es una estructura calcárea y porosa formada por el crecimiento de corales, es una estructura rígida de carbonato de calcio

construida por **corales** y otros organismos marinos (Allaby 2004). Los arrecifes son construidos por antozoos coloniales sobre una base también calcárea que es una acumulación de esqueletos. El armazón exterior, que mantiene la masa unida, está constituido por corales ramificados o masivos y algas incrustantes. Los arrecifes ofrecen sustrato y alojamiento a numerosos organismos sésiles tales como esponjas, tunicados, algas y otros invertebrados y vertebrados marinos. El arrecife de coral es una estructura viva que acumula carbonato de calcio continuamente. La parte frontal (hacia el mar) del arrecife se caracteriza por una pendiente que puede tener formaciones de surcos y espolones que disipan la energía del oleaje que rompe en la cresta del arrecife.

¿Qué es un coral?

Un coral es una combinación de dos organismos **simbióticos**. Aunque son carnívoros los corales se caracterizan por una simbiosis altamente especializada. El organismo de coral es un celenterado o pólipo (Anthozoa) con una micro alga dentro de su tejido blando. Dentro del pólipo se encuentran las zooxantelas, algas unicelulares al parecer siempre flageladas. La zooxantela produce alimento y oxígeno por medio de la fotosíntesis mientras el pólipo provee espacio, bióxido de carbono y nutrientes producto del metabolismo celular para la co-existencia de ambos. La importancia de esta simbiosis se hace evidente en el hecho de que la distribución de los corales está limitada por la radiación disponible para fotosíntesis que atraviesa la columna de agua. Aunque muchos corales solitarios pueden vivir a grandes profundidades, los que forman arrecifes se encuentran solo en aguas cálidas y bien iluminadas. El mayor desarrollo de corales ocurre en aguas con profundidades menores a 50 metros. Los corales no toleran bajas salinidades y se desarrollan mejor en agua con salinidad promedio del mar. No toleran agua turbia ni precipitaciones anormales que reducen la salinidad. En estos casos se registra la expulsión de las zooxantelas conocido como el blanqueamiento del coral. Además de la simbiosis constituida por las zooxantelas, las

comunidades coralinas se caracterizan por varios ejemplos de consorcios, interrelaciones y complejas redes entre los organismos que constituyen el hábitat.

¿Qué es un organismo simbiótico?

Un organismo simbiótico es un organismo que convive/habita con otro organismo para el beneficio de ambos. Esta relación puede ser tan fuerte que solamente se encuentran esos dos organismos en unión y nunca separados.

¿Qué efecto tienen los arrecifes de coral en la zona marítimo-terrestre?

Los arrecifes protegen la zona marítimo-terrestre de los impactos de las olas, incluyendo las marejadas ciclónicas y los tsunamis. Suplen la playa de arena y atrapan la arena que regresa al mar contribuyendo así al crecimiento o mantenimiento de la costa. Un ejemplo del efecto de la desaparición y achicamiento de los arrecifes en la costa es la erosión costera en Isla Verde (Bush *et al.* 1995). El arrecife es un dissipador de energía del oleaje que se renueva y se repara sin intervención alguna.

¿Cómo se forma un arrecife de coral?

Los arrecifes de coral se forman por el constante depósito de carbonato de calcio por corales hermatípicos, algas calcáreas y otros organismos (Hernández Delgado 2005). Según crecen y compiten estos organismos van depositando capa sobre capa de carbonato de calcio y otras sustancias tales como espículas de sílica, esqueletos de erizos y conchas. Toda esta materia se erosiona y deposita formando el armazón sobre el cual crecen verticalmente los organismos coralinos.

¿Cuántos tipos de corales existen?

En términos generales existen cuatro tipos de corales: pétreos, córneos, las miléporas o corales urticantes y los zoantidos. Los corales pétreos son los responsables por la mayoría de la deposición de carbonato para el armazón del arrecife.

¿Qué factores promueven el crecimiento de los corales?

Los factores que promueven el crecimiento de los corales son la temperatura constante del agua (ideal 25°) (C/77° F), la iluminación que alcanza cierta profundidad (no más de 25 a 30 metros, aunque existen corales de aguas profundas), salinidad constante, movimiento de volúmenes de agua (corrientes), aguas de pocos nutrientes (oligotróficas) y aguas claras (la presencia de sedimentos suspendidos y la sedimentación reducen el crecimiento de los corales).

¿Cuántos tipos de arrecifes de coral existen en Puerto Rico?

En Puerto Rico existen generalmente tres tipos de arrecifes de coral: costeros o marginales, de parche y de banco (Goenaga y Cintrón 1979) que se encuentran en la plataforma insular oeste, sur y este de la Isla (Fig. 5.18). Además, Puerto Rico tiene otros tipos de arrecifes rocosos descritos por Hernández Delgado (2005) quien también publicó un mapa con la distribución de todos los arrecifes de coral en Puerto Rico (su Figura 5.2).

¿Cuántos años tarda en formarse un arrecife de coral?

La formación de un arrecife de coral es generalmente lenta. Se estima que el crecimiento de un arrecife de coral puede ser de 1 a 15 cm por año, por lo tanto un coral puede tener entre 100 y 1,000 años dependiendo del tamaño. Aunque el crecimiento es lento, es suficiente para ajustarse a cambios leves en el nivel del mar. Algunos corales que se han taladrado para determinar su edad contienen depósitos de 9 mil años.

¿Por qué son importantes los arrecifes de coral?

Los arrecifes de coral sirven como fuente de alimento (pesca), recreación (buceo), economía (turismo y pesca), protección costanera y ayudan a evitar la erosión de playas. Muchos organismos del arrecife de coral tienen valor

medicinal debido a la complejidad química de su metabolismo.

¿Qué organismos habitan en los arrecifes de coral?

Los arrecifes de coral son uno de los hábitats más ricos en biodiversidad en el planeta. En la literatura científica se les compara con los bosques tropicales (Lugo *et al.* 2000) por su alto número de especies. En Puerto Rico se han documentado 137 especies de corales (7 hidrocorales, 4 antipatarios, 2 telestáceos, 60 octocorales y 64 escleractinios; Hernández Delgado 2005) y de acuerdo a Wilkinson (2004) 117 corales duros, 99 corales blandos y gorgonios, 13 coralimorfios y 237 cuasi-corales (*coral-like*). En cuanto a peces e invertebrados encontramos miles de especies asociadas a los arrecifes de coral (Hernández Delgado 2005).

¿Hay algún organismo en peligro de extinción?

Entre los organismos en peligro de extinción que habitan en o dependen de los arrecifes de coral se encuentran dos especies de coral (coral de cuerno de alce y cuerno de ciervo), varios meros tales como el mero cherna y mero batata, las tortugas marinas (peje blanco y Carey de concha) (IUCN 2006), al igual que varios mamíferos marinos como el manatí y la ballena jorobada.

¿Qué amenazas ambientales enfrentan los arrecifes de coral?

Las mayores amenazas ambientales que enfrentan los arrecifes de coral son el calentamiento del agua (que se manifiesta en el blanqueamiento de corales), la eutrofización, la contaminación y las escorrentías de sedimento fino tanto de la costa (por construcciones, erosión costera, descarga de aguas usadas y

descarga de químicos industriales) como de los ríos (que traen sedimentos de erosión en los ríos y construcciones alrededor de los mismos). Otros factores que también amenazan a los arrecifes de coral directamente son dragados, encallamientos, anclajes indebidos, algunas actividades recreativas y la sobre pesca. Los derrames de petróleo pueden ocasionar mortandades debido a la toxicidad de las fracciones solubles, la elevación de la temperatura por absorción de calor y el recubrimiento durante mareas bajas.

¿Qué es el blanqueamiento de corales?

El blanqueamiento de corales se refiere a cuando el coral pierde la micro alga simbiótica (zooxantela) y así el color que esta le provee. Esto se puede deber a varias razones (temperatura, radiación, abrasión y contaminación entre otros) y elimina el proceso fotosintético dentro del tejido del coral lo que puede causar la reducción de su crecimiento, reproducción y hasta la muerte del coral.

¿Qué está causando el blanqueamiento de corales en Puerto Rico?

El blanqueamiento de corales que se ha observado recientemente en Puerto Rico se le atribuye a cambios en la temperatura del agua que las zooxantelas no toleran. Otras razones que también pueden causar blanqueamiento de corales en Puerto Rico son la sedimentación y contaminación de las aguas (que provoca el incremento en la presencia de algas) que sofocan a los corales e impiden el paso de la luz de sol que requieren las zooxantelas. El paso de los huracanes también causa blanqueamiento en los arrecifes de coral.

ADMINISTRACIÓN DE LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE

DELIMITACIÓN

¿Cuál es la delimitación de la zona marítimo-terrestre?

La delimitación de la zona marítimo-terrestre, por su definición, se delimita de la siguiente manera: donde no se manifiestan las olas de tormenta por estar el sitio bien protegido (estuarios, ríos y humedales tierra adentro), será hasta donde baña la marea astronómica en su flujo hacia tierra adentro; donde se manifiesten las olas de tormenta, será hasta donde lleguen las mayores olas en los temporales. En los acantilados, la zona marítimo-terrestre se delimita en el tope de los mismos.

¿Cómo se delimita la Zona Marítimo-Terrestre en Puerto Rico?

En teoría, la delimitación de la zona marítimo-terrestre se lleva a cabo si seguimos los estatutos plasmados en el “Manual de procedimientos para el deslinde del límite interior tierra adentro de los bienes de dominio público marítimo-terrestre” del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA 2005). Para determinar el límite interior (tierra adentro), en adición a las mareas y las olas de tormenta, se utilizan criterios abióticos, bióticos y la influencia humana; y se considera también la ubicación de las playas, las dunas de arena, las costas rocosas, la vegetación y los humedales mareales.

¿Qué es el deslinde del límite interior de los bienes de dominio público marítimo-terrestre?

El deslinde del límite interior (tierra adentro) de los bienes de dominio público marítimo-terrestre es la acción de determinar físicamente el límite de los inmuebles colindantes con los bienes de

dominio público marítimo-terrestre, de las servidumbres de salvamento y de vigilancia litoral, incluso el amojonamiento y el levantamiento de los planos de mensura y topografía correspondientes (DRNA 2005).

¿Quién está a cargo de delimitar la zona marítimo-terrestre?

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) es la agencia responsable de la delimitación de la zona marítimo-terrestre. Un agrimensor del Departamento es quien tiene la potestad de delimitar la zona marítimo-terrestre, según establecido en la Ley 173 del 12 de agosto de 1988. La ley dice que el agrimensor es el que “comprende la ejecución técnica y profesional relativa a la determinación, delineación y localización de líneas costaneras”.

¿Qué es un agrimensor?

El agrimensor licenciado es el profesional calificado para ejercer la profesión de agrimensura en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico y que consta registrado en el Departamento de Estado con un número de licencia de agrimensor.

¿A qué se debe la controversia sobre la definición y delimitación de la zona marítimo-terrestre?¹

La controversia en Puerto Rico sobre la definición y delimitación de la zona marítimo-terrestre se debe a varias razones, cada una repretando un argumento controversial independiente de los otros. Por ejemplo:

- A que ha sido adaptada de España sin saber qué era exactamente lo que los españoles tenían en mente.
- Las nociones incorporadas en la ley española tienen su origen en diversas ordenanzas castellanas de la edad media, muchas influenciadas por el derecho romano.

¹Al final de la Cartilla discutimos estos asuntos. Tous (2005) resume el argumento.

- La ley española no incorpora lo que hoy se conoce sobre riesgos naturales. En aquel entonces no había el grado de desarrollo en la costa que existe hoy día lo que incrementa la vulnerabilidad a desastres. Por último, las agencias de la época no tenían mandatos abarcadores para proteger el ambiente natural.
- Hay controversia en lo que significa mareas sensibles o no sensibles.
- Por el enfoque dado por las agencias a las mareas como principal agente delimitador de la zona marítimo-terrestre mientras se desestima la importancia del oleaje el cual es de mayor importancia en Puerto Rico.
- No se especifica en ningún lugar por dónde pasa el temporal que se menciona en su definición, ni tampoco se define la intensidad de ese temporal, ni el tipo o magnitud de las olas a considerarse.
- Los antiguos legisladores tampoco tenían conocimiento de huracanes ni de sus efectos sobre el mar y las costas, creando mareas extraordinarias y desborde hacia áreas bajas.
- Se confunde la playa con la zona marítimo-terrestre.
- No está claro si la distancia que corren los oleajes (el remonte) se suma a la marea o si la zona se delimita solamente por la marea.
- Entonces, si sólo la marea delimita la zona marítimo-terrestre, no está claro qué papel desempeña el oleaje en la definición.
- El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) no ha sido transparente al explicar la metodología que utiliza para delimitar la zona marítimo-terrestre.
- El que solo la marea astronómica delimite la zona marítimo-terrestre no es cónsono con el mandato constitucional de que las playas de Puerto Rico son públicas ya que lo que baña la marea astronómica es una franja de playa muy angosta debido a que las mareas en Puerto Rico son micro-mareas (mareas de poca amplitud).
- El frecuente otorgamiento de variaciones y excepciones por parte de la Junta de Planificación y la Administración de Reglamentos y Permisos (ARPE) a la prohibición reglamentaria de cualquier

construcción, lotificación, obra de desarrollo o proyecto en las servidumbres que separan la zona marítimo-terrestre de la propiedad privada.

¿Cuál es la consecuencia práctica de la ubicación tierra adentro de la zona marítimo-terrestre?

La determinación de la ubicación tierra adentro de la zona marítimo-terrestre distingue el bien no patrimonial (de dominio público) y el patrimonial. Si el gobierno subestima la zona marítimo-terrestre el público pierde sus bienes no patrimoniales; si sobreestima la zona marítimo-terrestre entonces el sector privado pierde terrenos.

Siendo las costas tan dinámicas, ¿Por cuánto tiempo se da por válida una delimitación de la zona marítimo-terrestre?

El Reglamento de Planificación número 17 establece que un deslinde es válido por un periodo no mayor de un (1) año.

Ya que el deslinde de un área es válido por un año, ¿Por qué hay tantos proyectos que violan este estatuto?

Las agencias reguladoras muchas veces no le dan seguimiento a los proyectos solicitantes permitiendo así la violación de la validación de un deslinde.

¿Deben cambiar los procedimientos de delimitación de la zona marítimo-terrestre?

Sí, se debe aclarar la confusión que existe en torno a la definición y delimitación de la zona marítimo-terrestre.

¿Cuáles son los diferentes métodos para delimitar la zona marítimo-terrestre?

Algunos de los diferentes métodos para delimitar la zona marítimo-terrestre son: la utilización de factores bióticos, factores abióticos, el **límite histórico**, modelos de computadora y fotos aéreas. La tabla 7.1 ilustra las fortalezas y las debilidades de cada uno de estos métodos.

TABLA 7.1. Fortalezas y debilidades de los métodos para delimitar la zona marítimo-terrestre.

Método	Fortaleza	Debilidad
Factores Abióticos	Son los factores primordiales en la delimitación.	Depende de bancos de datos a largo plazo que no siempre están disponibles.
Factores Bióticos	Integran el ambiente costero a largo plazo.	Requiere trabajo especializado, porque la presencia de vegetación se afecta por la erosión y el uso de la zona.
Límite histórico	Incorpora experiencias históricas en la delimitación.	Se presta a mal interpretación de documentos. No es uniforme a lo largo de toda la Isla ya que no toda la costa de la Isla ha sido azotada de igual manera por los temporales a lo largo de los años. Los datos desaparecen pronto con el tiempo.
Modelos de computadora para simular la penetración de olas de tormenta debido al paso de temporales	Puede 'recrear' una tormenta para así estudiar su impacto en la costa. Presenta uniformidad para toda la costa de la Isla ya que los mismos parámetros se utilizan para llevar a cabo la delimitación a lo largo de la Isla.	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo toma en consideración el tamaño de la ola (no incluye el efecto o fuerza de las corrientes o el tipo de fondo). • Los modelos tratan a los procesos naturales como entes separados, carecen de integración, de y de sinergia entre, todos los procesos.
Fotos aéreas	<ul style="list-style-type: none"> • El análisis se lleva a cabo en la oficina sin la inconveniencia del trabajo de campo. • Se observa toda la Isla simultáneamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se tiene de referencia el momento cuando se tome la foto; no toma en consideración los cambios estacionales. • No toma en consideración el efecto de las tormentas. • No pueden demostrar hasta dónde penetran las olas más grandes durante los temporales. • No toma en consideración la fluctuación en la forma de la playa de estación a estación ni a través de los años.

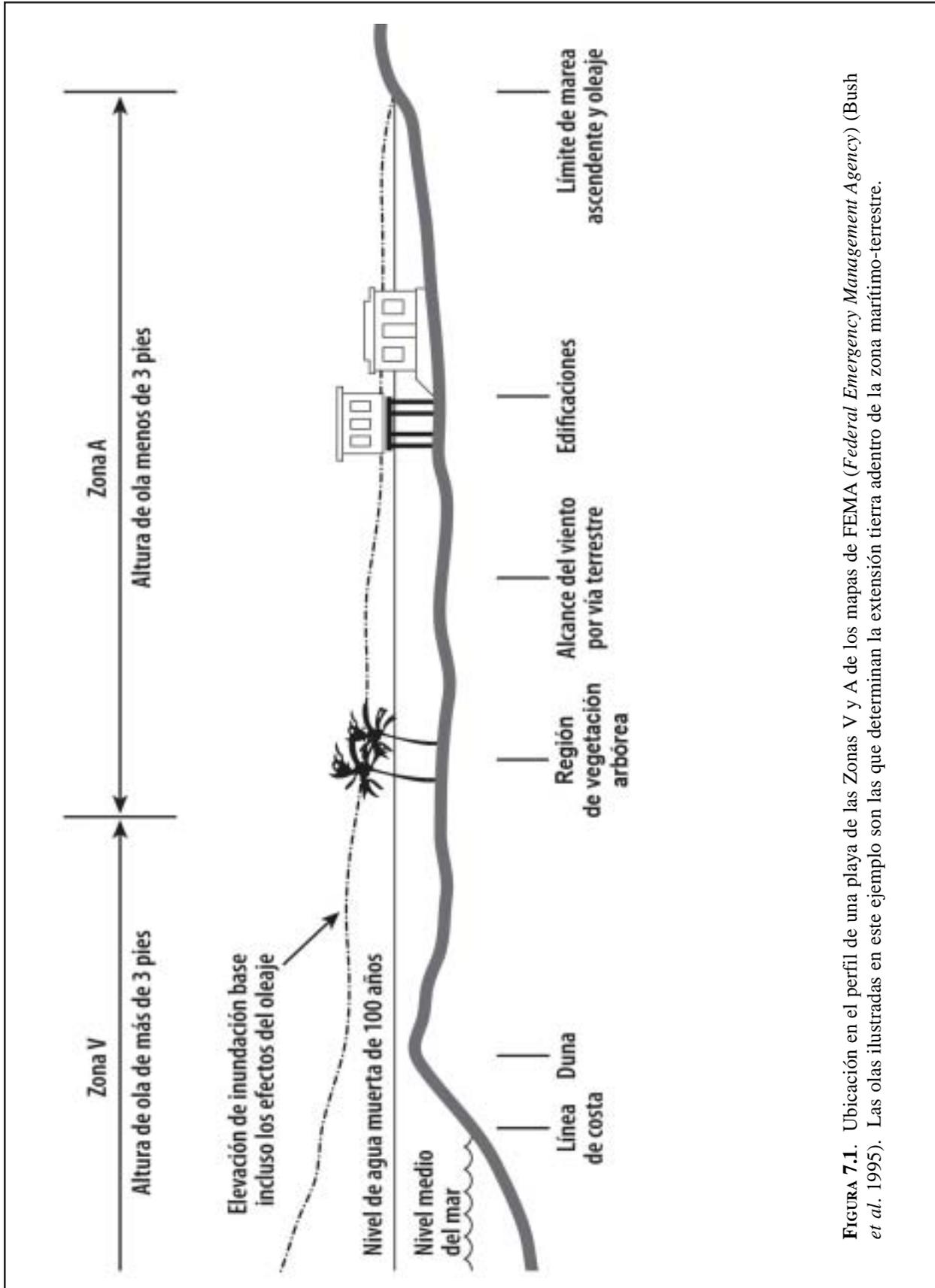


FIGURA 7.1. Ubicación en el perfil de una playa de las Zonas V y A de los mapas de FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) (Bush et al. 1995). Las olas ilustradas en este ejemplo son las que determinan la extensión tierra adentro de la zona marítimo-terrestre.

¿Qué es el límite histórico?

El límite histórico se refiere al criterio que el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales utiliza para determinar el límite tierra adentro de la zona marítimo-terrestre en lugares donde los desarrollos y obras ubicadas sobre los bienes de dominio público impacten significativamente las características bióticas y abióticas del área. El límite histórico se determina utilizando estudios topográficos e hidrográficos, planos de autorizaciones, concesiones, licencias, franquicias o permisos anteriores, mapas o cartas de mareas o de navegación y estudios del depósito de materiales en el estrán después de tormentas (DRNA 2004).

¿Qué modelos de computadora servirían para delimitar la zona marítimo-terrestre?

Existen varios modelos sofisticados capaces de simular la penetración del oleaje debido a temporales, los cuales son bastante precisos si los datos de entrada (datos topográficos y batimétricos) son buenos. Entre los más sencillos se encuentran los llamados modelos de Boussinesq. Se han hecho ya pruebas de estos en Hawaii y Florida. Actualmente se encuentran bajo evaluación por FEMA. En estos momentos, para los estudios para seguros de inundación (*Flood Insurance Studies*) FEMA utiliza dos modelos mucho más sencillos y por ende, menos precisos. Los modelos de FEMA son WHAFIS (*Wave Height Analisis for Flood Insurance Studies*) y RUNUP. Ambos están incluidos en el *software* llamado CHAMP (*Coastal Hazard Analisis Modelling Program*). Todos estos modelos son semi-empíricos (Recuadro 2).

¿Cómo funcionan estos modelos de computadora?

Los modelos de Boussinesq simulan la propagación en dos dimensiones (un plano horizontal) de trenes de olas propagándose por encima del agua muerta producida por la marejada ciclónica. Por lo tanto, simulan la penetración del oleaje con una resolución que normalmente es de 5 metros. Esto es, cada cinco

metros a lo largo de la playa se tiene un valor del oleaje y de su remonte (*runup*). Los modelos incluyen casi todos los efectos que pueden modificar ese oleaje durante su propagación hacia la costa. A diferencia de estos, los modelos todavía utilizados por FEMA utilizan perfiles del terreno que van desde una profundidad específica (se recomienda 40 pies o 12.2 metros de profundidad) hasta la elevación tierra adentro que se asume que no es sobrepasada por la inundación base y/o el remonte. Para lograr esto, se divide toda la costa de Puerto Rico en segmentos cuyas características geomorfológicas sean relativamente uniformes. Esto es, los resultados del análisis hecho para cada segmento se supone válido para todo el pedazo de costa representado por ese perfil (Mercado 2003). Estos perfiles pueden estar separados por varios kilómetros y los resultados se interpolan entre dos perfiles contiguos cuando no se puede asumir perfecta homogeneidad en los segmentos.

El modelo WHAFIS comienza con una ola de huracán a cierta distancia mar afuera y ésta se propaga por encima del nivel de 100 años, influenciada por los vientos del huracán. Según se encuentra con obstáculos que disipen energía, el modelo disminuye la altura de la ola según ecuaciones semi-empíricas.

El modelo RUNUP simula el remonte de la ola según trepa tierra arriba en la nueva orilla desplazada por la marejada ciclónica.

¿Existen otros modelos de computadora para calcular el límite terrestre del impacto de algún fenómeno atmosférico?

Existen modelos mucho más sofisticados (Recuadro 3) que trabajan a base de perfiles (una dimensión) o a base de una malla computacional de profundidades y topografía (dos dimensiones). Pero éstos todavía están en etapa de experimentación y no han sido aceptados aún por agencias reguladoras. Además, requieren más datos de entrada, datos que muchas veces no se tienen y cuesta mucho obtener.

RECUADRO 2. Programas de computadora utilizados para delimitar la zona marítimo-terrestre (Mercado 2003).

$$\text{BFE} = \text{Inundación Base} + 0.55 d100.$$

Esta sencilla fórmula se utiliza para estimar el *Base Flood Elevation* (BFE) en lugares en donde, por razón alguna, no se desea, o no se pueden, correr los programas WHAFIS y RUNUP requeridos por FEMA para la preparación de los *Flood Insurance Rate Maps* (FIRM). Se necesita saber cuanto es la elevación del agua muerta de 100 años de recurrencia, relativo al nivel promedio del mar en el lugar de interés. Esto se llama la inundación base. También se necesita saber la profundidad de esa misma agua muerta relativo al lugar en donde uno se encuentra (*d100*). Si evaluamos *d100* justamente en la orilla dada por el nivel promedio del mar entonces $d100 = \text{Inundación Base}$, y la ecuación de arriba se simplifica a

$$\text{BFE} = 1.55 \text{ C Inundación Base}$$

y lo que se hace es proyectar esta elevación tierra adentro.

En la práctica, y de manera más correcta, este tipo de análisis se lleva a cabo utilizando un programa de computadoras llamado WHAFIS (*Wave Height Analisis for Flood Insurance Studies*). Según el oleaje penetra tierra adentro y se encuentra con diferentes obstáculos que disipen su energía la altura de la ola se reducirá y, consecuentemente, el BFE.

En los lugares en donde el oleaje pueda llegar con suficiente energía hasta donde termina la inundación, el BFE está dado por la proyección horizontal hacia mar afuera de la máxima elevación del remonte. En donde se solapan las dos elevaciones (la dada por el remonte y la dada por la altura de la ola máxima) se utiliza la mayor, tal y como se explicara arriba. El remonte se determina utilizando un programa llamado RUNUP. Hoy día la determinación del BFE, y el ancho de la Zona V, se determina utilizando una combinación de WHAFIS y RUNUP, llamado CHAMP, que trabaja en base de ventanas bajo *MS Windows*.

RECUADRO 3. Modelos de computadora para calcular el límite terrestre del impacto de algún fenómeno atmosférico.

Se utilizan modelos de dos y hasta tres dimensiones en donde se resuelven las ecuaciones de conservación de momentum (*phase resolving models*, ya que se puede calcular la fase de la ola – por ejemplo, los modelos de tsunami son de esta clase), o resuelven la ecuación de conservación de energía de la ola (*phase averaging models*, ya que se pierde información de la fase de la ola). En ambos casos se simula la propagación de trenes de ola en un plano horizontal, tomando en consideración, entre muchos otros efectos físicos, el efecto que cambios en profundidad tiene la altura y la dirección del oleaje. En la clase de *phase resolving* existen los modelos en donde se asume que la velocidad de la corriente inducida por el oleaje no varía con profundidad a lo largo de toda la columna de agua (como son los modelos de tsunamis) y otros más realistas, pero complicados, en donde se permite cierta variación con profundidad de la corriente inducida por el oleaje.

REGLAMENTACIÓN

¿Pueden ser privadas las costas?

La parte interior (hacia tierra) de la costa puede ser privada siempre y cuando quede fuera de la zona marítimo-terrestre. Sin embargo, dentro de la zona marítimo-terrestre se pueden autorizar

usos privados por un tiempo limitado (por ejemplo, para festivales playeros). Este tipo de permiso para uso privado a corto plazo es llamado una autorización. Para usos que requieren instalaciones a más largo plazo se otorga una concesión. Las concesiones pueden ser de hasta 90 años, lo que equivale privatizar la zona marítimo-terrestre.

¿Qué agencias tienen ingerencia en la delimitación y manejo de la zona marítimo-terrestre?

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales es la única agencia con la responsabilidad de delimitar la zona marítimo-terrestre y tiene jurisdicción primaria sobre su aprovechamiento. Además, comparte con el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América la jurisdicción sobre las aguas territoriales. Muchas otras agencias ejercen jurisdicción sobre distintos aspectos del uso, manejo y disfrute de esta zona (Tabla 7.2).

¿Qué agencia es la responsable de vigilar y reglamentar lo que sucede en la zona marítimo-terrestre?

Muchas agencias estatales y federales tienen jurisdicción en esta área (Tabla 7.2). La Junta de Planificación tiene la responsabilidad de implantar el Reglamento de Zonificación de la Zona Costanera y de Acceso a las Playas y Costas de Puerto Rico (Reglamento Núm. 17), cuyo propósito primordial es “Lograr acceso adecuado a la costa y a las playas de Puerto Rico y el uso óptimo de las mismas, por el público en general...”. Cada agencia se ampara en distintas leyes y reglamentos para ejercer su responsabilidad sobre la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestres.

¿Qué usos son permitidos en los bienes de dominio público marítimo-terrestre?

Los usos permitidos en los bienes de dominio público marítimo-terrestre, incluyendo la zona marítimo-terrestre son aquellos relacionados directamente con el mar (puertos, instalaciones pesqueras, marinas o instalaciones similares).

¿Por qué no se puede enajenar la zona marítimo-terrestre?

La zona marítimo-terrestre no se puede enajenar porque es un bien de dominio público. Los bienes de dominio público (no patrimoniales) le pertenecen a todos por igual y a nadie en

particular. Por ende, el Estado Libre Asociado no tiene autoridad para enajenarlos, sino para administrarlos y conservarlos para presentes y futuras generaciones de acuerdo con la política pública de Puerto Rico.

¿Se puede extraer arena de las playas?

La regla general es que no se puede extraer arena de las playas o dunas de arena o cualquier otra fuente que quede en terrenos públicos o privados. Por excepción, se supone que se obtenga un permiso para esos fines del Secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA 1968).

¿Se puede construir en la zona marítimo-terrestre?

Si, se puede construir en la zona marítimo-terrestre si se cumple con los reglamentos de planificación y de la zona costanera. El Reglamento Número 4 de la Junta de Planificación indica, en la Sec. 85.13, “a los fines de proteger el potencial de los recursos existentes en la zona costanera, especialmente de los que colindan con la zona marítimo-terrestre, para la recreación, contemplación y solaz espiritual, se deberá evitar al máximo el desarrollo intenso paralelo a la costa, promoviéndose y estimulándose que los terrenos se mantengan en su estado original y que los usos que allí se ubiquen armonicen con el potencial del sector costanero.” El Reglamento Número 17 de la Junta de Planificación dispone en la Sec. 3.05 que: “En todo proyecto para la construcción de edificios, de notificación o de urbanizaciones de terrenos, con frente a la costa o playas de Puerto Rico, la Junta requerirá que se dedique, para uso público, una faja de terrenos de veinte (20) metros de ancho mínimo, paralela y medida desde la zona marítimo-terrestre. En adición, no se erigirán estructuras permanentes en una faja de terrenos de treinta (30) metros de ancho, contigua a la anterior.”

La construcción en la zona marítimo-terrestre se considera sólo si se trata de usos relacionados al mar con de carácter público (DRNA 1992). Idealmente las estructuras fuesen temporeras y

TABLA 7.2. Agencias federales y estatales con alguna jurisdicción sobre la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestres de Puerto Rico.

Agencia	Responsabilidad
Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA)	Delimitación y custodio de todos los recursos naturales en la zona marítimo-terrestre. Autoriza e; aprovechamiento de los bienes de dominio público marítimo-terrestres y tiene jurisdicción primaria sobre estos.
Junta de Planificación (JP)	Regulación de los usos en la zona marítimo-terrestre incluso las servidumbres aplicables. Planificación.
Administración de Reglamentos y Permisos (ARPE)	Permisos de construcción y variaciones a usos de la zona marítimo-terrestre y las servidumbres aplicables.
Compañía de Parques Nacionales	Manejo de balnearios. Los balnearios se consideran fuera de la zona marítimo-terrestre.
Municipios Costeros	Vigilancia y administración de propiedades municipales; planificación cuando son municipios autónomos.
Autoridad de los Puertos (AP)	Operación de los puertos del país. Tiene total jurisdicción sobre las aguas y la zona marítimo-terrestre de los puertos.
US Army Corps of Engineers (USCOE)	Autorización para uso de las aguas de los Estados Unidos de América.
US National Park Service	Administración de El Morro y otros fuertes costeros.
US Environmental Protection Agency	Protección de la calidad de las aguas de los Estados Unidos de América.
Junta de Calidad Ambiental	Responsable por la calidad del agua, suelo y aire en todo Puerto Rico.
Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los E.E.U.U.	Administración de Refugios de Vida Silvestre costeros y manejo de especies costeras en peligro de extinción.
US Coast Guard	Vigila las costas y es responsable por prevenir accidentes como los derrames de petróleo.
US National Oceanic and Atmospheric Administration	Maneja a nivel nacional el Programa de Manejo Costanero, bajo el Coastal Zone Management Act. Opera los mareógrafos.
Agencia Federal para el Manejo de Emergencias	Responsable por los mapas de inundación costera, incluyendo incursiones marinas. Coordina todos los recursos necesarios para atender cualquier tipo de emergencia que ponga en riesgo la vida y/o propiedad.
Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres	Coordina todos los recursos necesarios para atender cualquier tipo de emergencia que ponga en riesgo la vida y/o propiedad.

autorizadas (por ejemplo, tarimas para festivales). Sin embargo, el Reglamento 4860 permite estructuras permanentes de uso público como muelles, rampas, marinas, etc. En la práctica ocurren invasiones de la zona marítimo-terrestre como las casetas en la Parguera.

¿Qué es inundación base?

La inundación base o inundación de 100 años es el término que se usa en los mapas de inundación de FEMA para referirse a la inundación causada por la marejada ciclónica. Se refiere a la “inundación que tiene un uno (1) por ciento de probabilidad de ser igualada o excedida en un año dado. Se conoce como una inundación con un periodo de recurrencia de 100 años” (Junta de Planificación 2005).

¿Qué es nivel de inundación base?

El nivel de inundación base en el caso de ríos es la “elevación máxima que alcanzarían las aguas desbordadas de un río, quebrada o arroyo durante una inundación base. Es la elevación que tendría un uno (1) por ciento de probabilidad de ser igualada o excedida en cualquier año” (Junta de Planificación 2005). En el caso de inundación base costera por la marejada ciclónica, la misma se refiere a la altura sobre el nivel promedio del mar de la cresta de la ola más grande que puede propagarse por encima de la inundación de agua muerta con periodo de recurrencia de 100 años.

¿Qué es un área especial de riesgo de inundación (Special Flood Hazard Area)?

Un área especial de riesgo de inundación (Special Flood Hazard Area) es un “área donde el riesgo de inundación es de uno (1) por ciento de probabilidad al año. Área equivalente al **valle inundable** o inundación con recurrencia de 100 años” (Junta de Planificación 2005).

¿Qué son áreas costaneras de alto peligro?

Las áreas costaneras de alto peligro son “área[s] en la costa sujeta[s] a la inundación base y a altas velocidades de las aguas que incluyen marejadas ciclónicas. Esta[s] área[s] se

designa[n] con **Zona V** y **VE** en los **Mapas sobre Tasas del Seguro Contra Inundación (Flood Insurance Rate Maps – FIRM)**” (Junta de Planificación 2005).

¿Qué es un seguro de inundación?

Un seguro de inundación es una “cubierta de seguro propuesta bajo el **Programa Nacional de Seguro de Inundación**” (Junta de Planificación 2005).

¿Qué es el Programa Nacional de Seguro de Inundación?

El Programa Nacional de Seguro de Inundación o National Flood Insurance Program (en adelante, NFIP) es un “programa creado por el Congreso de los Estados Unidos de América en el año 1968 y mediante el cual se hace disponible el seguro de inundación a las comunidades participantes” (Junta de Planificación 2005). La Junta de Planificación es la agencia estatal coordinadora de dicho programa en Puerto Rico. No obstante, FEMA es la agencia federal encargada de administrar el NFIP, principalmente.

¿Qué pasa si una estructura en particular no cumple con los criterios mínimos?

De una estructura en particular no cumplir con los criterios mínimos de construcción, dicha estructura no podrá ser asegurada bajo el NFIP y a su vez ningún banco o entidad federal puede prestar dinero para su construcción.

¿Hay alguna otra situación bajo la cual una propiedad no cualifique para seguro de inundación federal?

Sí, cuando aplica la ley federal de **barreras costeras**.

¿Qué es el Mapa de Tasas del Seguro Contra Inundación (Flood Insurance Rate Maps – FIRM)?

El Mapa de Tasas del Seguro Contra Inundación es el “mapa oficial preparado y aprobado por FEMA, el cual fue adoptado por la Junta de

Planificación y que identifica las áreas especiales de riesgo a inundación de acuerdo” a **ocho zonas** (Junta de Planificación 2005).

¿Para qué se utilizan los Mapas de Tasas de Seguro contra Inundaciones FIRM)?

Los Mapas de Tasas de Seguro Contra Inundaciones se han preparado principalmente para establecer las primas de seguro contra inundación, seguro que es ofrecido en su mayoría por el Gobierno Federal a través de FEMA. Pero también se utilizan para establecer reglamentos sobre el uso de los terrenos potencialmente inundables por el evento de 100 años, costeros y no costeros y criterios de construcción.

¿Cuáles son las ocho zonas que establecen los Mapas FIRM?

Las **ocho zonas** que establecen los Mapas FIRM son las siguientes (Figs. 5.14 y 7.1):

Zona A: área especial de riesgo de inundación con periodo de recurrencia de 100 años; determinada por métodos aproximados y para la cual no se ha determinado la elevación de la inundación base. Existen dos tipos de Zona A: 1) Zona A Cauce Mayor (*floodway*), en donde la velocidad del agua es lo suficiente como para hacer daño estructural y 2) Zona A, en donde se asume que es agua muerta, esto es, sin velocidad.

Zona AE: área especial de riesgo de inundación con periodo de recurrencia de 100 años, determinada por métodos específicos y para la cual se indican las elevaciones de la inundación base. Según el alcance del estudio, puede incluir la determinación del Cauce Mayor.

Zona AO: área especial de riesgo de inundación con periodo de recurrencia de 100 años, para la cual la profundidad de la inundación base fluctúa entre 0.30 metros (un (1) pie) y 0.91 metros (tres (3) pies). Las profundidades promedio de la inundación se derivan de un análisis hidráulico detallado.

Zona D: área donde el riesgo de inundación está sin determinar, pero es posible.

Zona V: área costanera de alto peligro de inundación por marejadas con periodo de recurrencias de 100 años para la cual no se han determinado las elevaciones de la inundación base.

Zona VE: área costanera de alto peligro debido a la presencia de oleaje que puede hacer daño estructural, oleaje que se propaga por encima del agua muerta con periodo de recurrencia de 100 años para la cual se ilustra la elevación de la inundación base.

Zona X (con puntos negros): área de inundación con 0.2 por ciento de probabilidad de ocurrir cada año, área para inundación de 100 años con profundidad del agua menor de 0.3 metros o con áreas de drenaje menor de 2.6 kilómetros cuadrados y áreas protegidas por diques contra la inundación de 100 años.

Zona X (no oscurecida): área determinada fuera de la inundación de la tormenta de 500 años” (Junta de Planificación 2005).

¿Qué son Mapas de Zonas Susceptibles a Inundaciones?

Los Mapas de Zonas Susceptibles a Inundaciones son los mapas que la Junta de Planificación utilizaba para identificar las áreas susceptibles a inundaciones hasta el 31 de diciembre de 2005, cuando entró en vigor el Reglamento Sobre Áreas Especiales de Riesgo a Inundación (Reglamento de Planificación Número 13, sexta versión). En este nuevo reglamento, que deroga el Reglamento de Zonas Susceptibles a Inundaciones (Reglamento de Planificación Número 13, quinta versión), se adoptan los Mapas sobre Tasas del Seguro Contra Inundación para Puerto Rico de FEMA en sustitución de los Mapas de Zonas Susceptibles a Inundaciones de Puerto Rico. La tabla 7.3 compara algunas de las zonas de los Mapas sobre Tasas del Seguro Contra Inundaciones (FEMA) con algunas de las zonas

TABLA 7.3. Comparación de algunas de las zonas de inundación en los mapas sobre tasas del seguro contra inundaciones de FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) con algunas de las zonas de inundación en los mapas de zonas susceptibles a inundaciones de la Junta de Planificación. Basado en un aviso firmado por el Gobernador de Puerto Rico en diciembre de 2005.

FEMA	Junta de Planificación	Características
Zona VE	Zona 1M (sección 8.00)	Correntía de agua con gran velocidad por olas de viento con altura de 3 pies (0.91 metros) o más, propagando encima de la marca de inundación de 100 años. Área costera de alto riesgo a inundación por marejadas.
Área de cauce mayor en Zona AE	Zona 1 (sección 6.00)	Inundable por aguas de ríos durante evento de 100 años con alta velocidad.
Zona A	Zona 2 (sección 7.02)	Inundable por la marejada ciclónica, ríos o lluvias con frecuencia de 100 años con baja velocidad.
Zona AE	Zona 2 (sección 7.03)	Terrenos localizados entre el límite del cauce mayor y el límite del valle inundable.
Zona AE	Zona 2 (sección 7.04)	Terrenos donde se conoce el nivel de inundación base y no se ha delimitado el cauce mayor.
Zona AO	Zona 2 (sección 7.05)	Terrenos donde la profundidad de las aguas de inundación es entre 0.3 y 0.9 metros.

de los Mapas de Zonas Susceptibles a Inundaciones de la Junta de Planificación.

¿Cuáles son las zonas que establecían los Mapas de Zonas Susceptibles a Inundaciones?

Las zonas susceptibles a inundaciones que establecían los Mapas de Zonas Susceptibles a Inundaciones son las siguientes:

Zona 1: Incluye los terrenos que ubiquen dentro de los límites del Cauce Mayor (*Floodway*). Estos terrenos se identifican en los Mapas de Límites de Inundación y del **Cauce Mayor** (*Flood Boundary and Floodway Maps -FBFM*). Se incluyen en los mismos terrenos comprendidos por núcleos poblados o pueblos. En los FIRM, esta zona se clasifica Zona A Cauce Mayor (*Zone A floodway*).

Zona 1M: Incluye los terrenos que ubiquen en las áreas costaneras de alto peligro. Estos terrenos se designan como Zona V, V1-V30, VE en los Mapas de Tasas de Seguros Contra Inundaciones. Se incluyen en el mismo terreno comprendido por núcleos poblados o pueblos. En los FIRM, esta zona se clasifica Zona V (*Zone V*).

Zona 2: Incluye los terrenos susceptibles a la inundación base que ubiquen entre los límites del cauce mayor y del valle inundable, pero excluyendo terrenos correspondientes al cauce mayor (*Floodway*) o las áreas costaneras de alto peligro. Cuando los límites de inundación y el Cauce Mayor no estén identificados en los mapas, esta zona comprenderá el valle inundable. Se incluyen en la misma terrenos comprendidos por núcleos poblados o pueblos. Estos terrenos

se designan como Zona A, A1-A30, AE o AO en los Mapas de Tasas de Seguro Contra Inundaciones (Junta de Planificación 2002). En los FIRM, esta zona se clasifica Zona A, correspondiente a áreas inundables por agua muerta, sea de río o de mar.

¿Qué es un estudio de seguro contra inundaciones?

Un estudio de seguro contra inundaciones es un “informe oficial preparado por FEMA, en el cual se indican los perfiles de las inundaciones, así como los Cauces Mayores y Límites de Inundación y elevación de las aguas de la inundación base” (Junta de Planificación 2005).

¿Qué es el cauce mayor (floodway)?

El cauce mayor (floodway) es “el lecho de un río, quebrada, arroyo o drenaje pluvial natural y aquellas porciones de terrenos adyacentes que se deben reservar para descargar la inundación base sin aumentar acumulativamente la elevación superficial de las aguas del valle inundable por más de 0.30 metros (un (1) pie) en estudios detallados vigentes...En caso de un nuevo estudio detallado en Zona A y la evaluación de un depósito relleno, el aumento máximo a permitirse será de 0.15 metros (medio pie), según determinada por el **estudio hidrológico-hidráulico**” (Junta de Planificación 2005). Es el área en donde la velocidad de la corriente se estima lo suficiente como para hacer daño estructural.

¿Qué es un valle inundable?

Un valle inundable se refiere a los “terrenos llanos o semi-llanos normalmente secos y susceptibles a inundaciones por aguas provenientes de una fuente natural. Usualmente es un área baja adyacente a un río, quebrada, arroyo, océano o lago afectados por la inundación de niveles más altos conocida en la historia de la región o por la inundación base, según ilustrados en estudios y mapas” (Junta de Planificación 2005).

¿Qué es un estudio hidrológico-hidráulico?

Un estudio hidrológico-hidráulico es un “estudio técnico científico mediante el cual se determinan las descargas de agua para inundaciones de diferentes eventos y el análisis de las características de los cuerpos de agua y terrenos adyacentes para estimar los niveles de inundaciones para diferentes eventos recurrentes en una cuenca hidrográfica” (Junta de Planificación 2005). El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales endoza los estudios hidrológicos-hidráulicos.

¿Existe una política pública sobre la prevención de inundaciones?

Sí, aunque pareciera que los proyectos en áreas inundables no se reglamentan, existe la Ley Núm. 49 del 4 de enero de 2003, conocida como la “Ley para establecer la política pública de inundaciones y conservación de ríos y quebradas de Puerto Rico”. El artículo 1 de esta ley, aparte de declarar como política pública la conservación de estos cuerpos de agua como parte de un ecosistema, claramente dispone que nadie, incluso refiriéndose a los funcionarios públicos, promoverá la edificación de estructuras en zonas inundables, ni se permitirá la canalización de los ríos para viabilizar proyectos con fines y propósitos privados en esas zonas.

¿Qué son barreras costeras?

Las barreras costeras (coastal barriers) son “áreas designadas en los Mapas sobre Tasas del Seguro Contra Inundación [FIRM]. Constituye una declaración del Gobierno Federal de no participar y desincentivar el desarrollo de dichas áreas” (Junta de Planificación 2005).

¿Qué es la Ley Federal de Barreras Costaneras (Coastal Barriers Resources Act)?

La Ley Federal de Barreras Costaneras (*Coastal Barrier Resources Act - 16 USC 3501 et seq.*) es una ley del 1982 que aplica a Puerto Rico y que prohíbe el seguro de inundación en la mayoría de los edificios en las áreas designadas

como barreras costeras en los Mapas sobre Tasas del Seguro Contra Inundación.

¿Cuál es el propósito de la Ley de Barreras Costaneras?

El propósito de la Ley de Barreras Costaneras es reducir los riesgos a la seguridad pública y pérdida de vida, minimizar los daños a los recursos naturales y la vida silvestre y minimizar el malgasto de fondos federales (Junta de Planificación 2005). Esta ley pretende desalentar la construcción y la urbanización en las zonas con alto riesgo de inundaciones por marejadas y de alta sensibilidad ambiental.

¿Qué sectores componen el sistema de barreras costaneras?

Los sectores del litoral costero donde coinciden recursos ecológicos de alto valor y una alta vulnerabilidad para la gente al peligro de inundaciones por el mar, ríos o ambos son los sectores que componen el sistema de barreras costaneras.

¿Cuáles son algunas disposiciones de esta ley?

La ley determinó que las nuevas construcciones en zonas de barreras costaneras no cualifican para seguros federales de inundaciones. Los seguros federales de inundaciones son seguros administrados por FEMA que proveen ayuda a los damnificados después de un desastre. Además, esta ley prohíbe el uso de fondos federales para la construcción de carreteras e infraestructura dentro de zonas de barreras costaneras.

¿Cuáles son las barreras costaneras de Puerto Rico?

En 1990, la Junta de Planificación presentó los mapas donde se identifican las barreras costaneras en Puerto Rico y especificó en donde se eliminaron los subsidios federales en la forma de ayudas pos-desastre (Fig. 7.2).

¿Cómo ha sido la implementación de esta ley en Puerto Rico?

La implementación de esta ley en Puerto Rico ha sido ambigua. Una manera de evitar que la ciudadanía se exponga a estos riesgos es limitar la construcción y la ubicación de proyectos de densa población en las zonas de riesgo. No obstante, es precisamente en esta zona de la barrera costanera donde se propone la construcción de miles de unidades residenciales-turísticas en Loíza, Luquillo, Vega Baja y otros lugares de Puerto Rico.

¿Cómo afecta la Ley de Barreras Costaneras a las comunidades ya establecidas en la zona costanera?

Las restricciones para estas zonas no se hicieron con el propósito de penalizar a las comunidades ya existentes dentro de una barrera costanera, ni pretenden eliminar sus seguros de FEMA. Las restricciones sólo se aplican a las nuevas construcciones (posteriores al 1990) para no arriesgar la vida y la propiedad, incluso la vida de los socorristas que harían la gestión de auxiliar a personas en estas zonas. Tiene el propósito también de desalentar que se malgasten fondos federales para construcciones en zonas inundables.

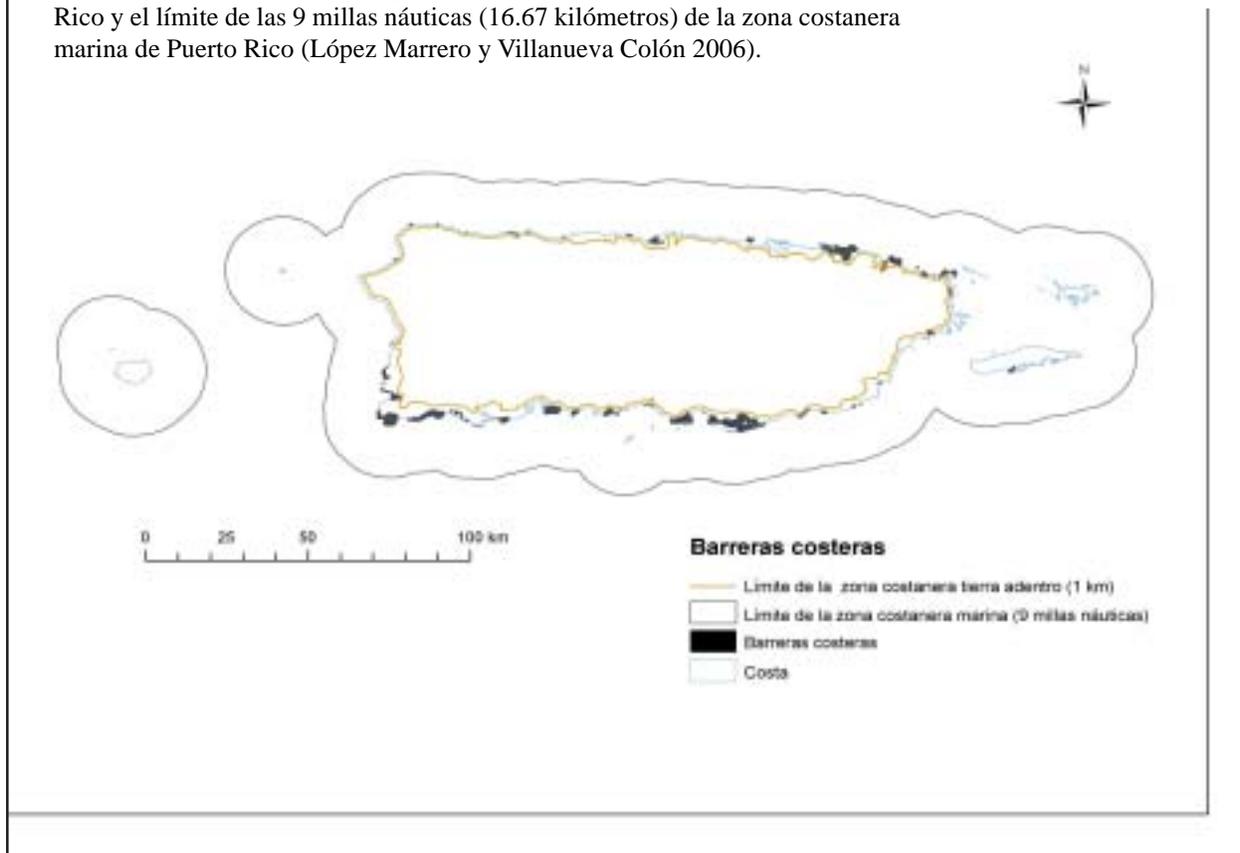
¿Qué leyes y reglamentos de Puerto Rico aplican en la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestre en general?

Las leyes y reglamentos de Puerto Rico que aplican en la zona marítimo-terrestre y a los otros bienes de dominio público marítimo-terrestre están resumidas en la tabla 7.4.

¿Qué leyes y reglamentos federales aplican en la zona marítimo-terrestre y a los otros bienes de dominio público marítimo-terrestres?

Algunas de las leyes y reglamentos federales que aplican a la zona marítimo-terrestre y a otros bienes de dominio público marítimo-terrestres son:

FIGURA 7.2. La distribución geográfica de las barreras costeras de Puerto Rico y el límite de las 9 millas náuticas (16.67 kilómetros) de la zona costanera marina de Puerto Rico (López Marrero y Villanueva Colón 2006).



- Ley sobre Política Pública Ambiental de 1969 (NEPA)
- Ley de Agua Limpia (*Clean Water Act*)
- Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA)
- Ley de Acción, Compensación y Responsabilidad Comprensiva Ambiental (Ley del Superfondo, CERCLA)
- Ley sobre el Control de Sustancias Tóxicas (*Toxic Substances Control Act*)
- Ley para Prevenir la Contaminación de 1990
- Ley de Manejo de la Zona Costanera de 1972, según enmendada (*Coastal Zone Management Act*)
- Ley del Sistema Nacional de Investigación de Reservas Estuarinas de la Ley de Manejo de la Zona Costanera de 1972
- Ley de Protección de Mamíferos Marinos de 1972 (*Marine Mammal Protections Act*)
- Ley de Áreas Estuarinas de 1968
- Ley de Barreras Costaneras 1982 (*Coastal Barrier Act*)
- Ley de Emergencias de los Humedales de 1986
- Ley para el Desarrollo de los Recursos de Agua
- Ley para la Conservación y Manejo de las Pesquerías de 1972
- Ley de Coordinación de la Pesca y Vida Silvestre de 1984
- Ley de Asistencia Federal sobre las Pesquerías
- Ley para la Conservación de Tierra y Agua de 1980 (*Land and Water Conservations Act*)
- Ley sobre Arrecifes para la Conservación de la Vida Marina de 1972

¿Qué tratados internacionales aplican a los bienes de dominio público marítimo-terrestre incluyendo la zona marítimo-terrestre?

Ejemplos de los tratados internacionales que aplican a la zona marítimo-terrestre y a otros bienes de dominio público marítimo-terrestres son:

- Declaración Universal de Derechos Humanos de la ONU, 1948.
- Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos, 1966.
- Pacto Internacional de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales, 1966.
- Tratado de Basilea (*Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes & Their Disposal*).
- Constituciones de la Organización Mundial de la Salud y de la Organización Panamericana de la Salud.
- Convención de Humedales (RAMSAR), 1971.
- Conferencia y Declaración del Ambiente Humano (Estocolmo), 1972.
- Convención de Diversidad Biológica (CBD), 1992.
- Convención del Comercio Internacional de Especies de Flora y Fauna Silvestres en Peligo de Extinción (CITES) 1973.
- Convención para la Prevención de Contaminación de Barcos (MARPOL) 1973.
- Ley del Mar (UNCLOS I- III), 1958, 1982.
- Conferencia del Ambiente y Desarrollo (UNCED o *Earth Summit*).
- Declaración de Río de Janeiro sobre Ambiente y Desarrollo y la Agenda 21, 1992.
- Metas del Milenio, 2000.
- Borrador de la Declaración de Principios de Derechos Humanos y Ambientales, 1994.
- Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Social, (Copenhagen) 1995.
- Principios de la Declaración de Copenhagen, 1995.
- Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sustentable (Johannesburgo) 2002.
- Convención de Especies Migratorias (Bonn) 2004.

- Declaración sobre la Implantación del Programa de Acción para el Desarrollo Sustentable de los Pequeños Estado Insulares en Desarrollo (Mauricio) 2005.
- Resolución 1803 (XVII) sobre la Soberanía Permanente de los Recursos Naturales, 14/12/1962.

¿Cuales son las disposiciones ambientales del Código Penal de Puerto Rico?

El Código Penal de Puerto Rico de 2004 (CPPR 2004) dispone cuatro tipos de delitos ambientales: contaminación ambiental, contaminación ambiental agravada, estragos y envenenamiento de aguas de uso público (Recuadro 4). Todos estos delitos requieren intención (implica la conciencia de haber podido evitar el daño y no hacerlo). Los delitos del nuevo Código Penal complementan las sanciones administrativas en las agencias locales y las sanciones en la legislación federal (Tabla 7.5).

¿En qué penalidades pueden incurrir las personas por violar las leyes y reglamentos que afectan la zona marítimo-terrestre?

Existen multas y penalidades por vía administrativa, las cuales se encuentran a través de toda la legislación protectora del ambiente, y aplican tanto a personas naturales (individuos) como a personas jurídicas (que incluyen corporaciones, asociaciones y entidades privadas). Por ejemplo, la Ley de Política Pública Ambiental de 2004, impone multas y sanciones por declaraciones falsas al solicitar permisos y certificaciones. El Nuevo Código Penal también contempla penalidades por violación a las leyes penales ambientales que fluctúan desde la reclusión con agravantes por 15 años para personas naturales o individuos, hasta multas y sanciones individualizadas para personas naturales y jurídicas, desde el 8 por ciento del ingreso anual para personas jurídicas, hasta \$300 por delito grave para el Fondo Especial a Víctimas de Delitos, para las personas naturales, que también puede incluir servicios comunitarios (Tablas 7.6 y 7.7). Existen también unos delitos dirigidos a penalizar la conducta de los

funcionarios públicos al faltarle al Pueblo de Puerto Rico, ya sea en las certificaciones falsas expedidas por funcionarios públicos (art. 207), soborno (art. 209), influencia indebida (art. 264), enriquecimiento ilícito de funcionarios público (art. 200), entre otros.

¿Es difícil procesar las violaciones ambientales?

Hay muchas condiciones que dificultan el procesamiento de violaciones por parte de las agencias reguladoras. Por ejemplo:

- No hay suficientes empleados para realizar inspecciones de campo.
- Los empleados no tienen el conocimiento o la experiencia que los cualifique para el trabajo.
- Falta de equipo.
- No hay personal capacitado para sostener las opiniones y funciones de la agencia.

- Falta de conocimiento en casi todos los sectores de la sociedad de las leyes relacionadas con el ambiente.
- Falta de coordinación y unidad de acción entre las diferentes agencias gubernamentales locales y federales.
- Falta de coordinación entre las divisiones de la misma agencia como resultado de decisiones de política pública de dicha agencia.
- Mala administración y negligencia.
- Falta de educación y cooperación del público para no dañar el ambiente y dejadez en la fiscalización a los gobiernos.

¿Qué puede hacer el ciudadano ante la burocracia de las agencias?

La tabla 7.8 contiene una hoja de cotejo de los requisitos y fundamentos jurídicos que puede usar el ciudadano al investigar el expediente administrativo ante las agencias del gobierno.

TABLA 7.4. Leyes y reglamentos de Puerto Rico que aplican a la zona marítimo-terrestre y a los otros bienes de dominio público marítimo-terrestres. La descripción y otra información se presenta cuando está disponible. ARPE = Administración de Reglamentos y Permisos. DRNA = Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. JCA = Junta de Calidad Ambiental. JP = Junta de Planificación.

Ley/Reglamento y Agencia	Descripción
Ley de Aguas española de 1866, extendida a PR ese mismo año.	Tuvo como fin la reglamentación de manera uniforme las aguas del territorio español. Esta ley es la precursora de los conceptos legales que se utilizan en el presente para la administración y vigilancia de los bienes de dominio público marítimo-terrestre. Designa la playa como componente del dominio público y los criterios que definen su límite interior tierra adentro son las más altas mareas equinocciales y donde llegan las aguas en temporales ordinarios (DRNA 2005). Fue derogada por la Ley de Puertos en lo pertinente a los bienes de dominio público marítimo-terrestre.
Ley de Puertos de 1880, extendida a PR por Decreto Real en el 1886 como Ley de Puertos para la Isla de Puerto Rico.	Define y declara como bienes de dominio nacional y uso público a la zona marítimo-terrestre, el mar litoral. las accesiones y los aterramientos causados por el mar. Establece que estos últimos dos pasan a ser propiedad del Estado luego del correspondiente deslinde. Define e indica que las servidumbres de vigilancia litoral y de

TABLA 7.4. (continuación).

Ley/Reglamento y Agencia	Descripción
Tratado de París, 1898.	salvamento son gravámenes sobre la propiedad privada que se reservan para la vigilancia litoral y salvamento. Esta ley sigue vigente. España le cede los dominios públicos de Puerto Rico a EEUU.
Ley Jones de 1917.	La administración de los bienes de dominio público es transferida al gobierno de Puerto Rico. La Ley de Relaciones Federales del 3 de julio de 1950, según ratificada también ratifica este poder.
Ley de Muelles y Puertos, 1928. Ley de Muelles y Puertos de 1968 (Ley 151 del 28 de junio de 1968, según enmendada), Autoridad de Puertos.	Incorpora la definición de la zona marítimo-terrestre, según establecida en La Ley de Puertos para Puerto Rico del 1886. Incorpora los terrenos ganados al mar como parte de la zona marítimo-terrestre, y por ende pertenece al dominio público.
Ley de Pesca (Ley 83 del 13 de mayo de 1936), fue derogada por la Ley de Pesquerías de Puerto Rico (Ley 278 del 29 de noviembre de 1998), DRNA.	La Ley de Pesquerías de 1998, reglamenta las actividades que tengan efectos sobre los recursos pesqueros dentro del mar territorial de Puerto Rico, que consta de doce (12) millas náuticas desde las líneas de marea baja o desde las líneas de base que se establezcan mediante acuerdos internacionales. Se declaran dominio público todos los organismos acuáticos y semiacuáticos que se encuentren en cuerpos de agua que no sean privados. Podrán ser pescados, aprovechados y comerciados libremente, con sujeción a esta ley y a los reglamentos. El DRNA promoverá el mejor uso, conservación y manejo de los recursos pesqueros de acuerdo a las necesidades del Pueblo de Puerto Rico. Toda persona que pesque en aguas jurisdiccionales tiene que poseer licencias y permisos.
Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, Art. VI, Secc. 19, 1952.	Dispone que “será política pública del Estado Libre Asociado la más eficaz conservación de los recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio general de la comunidad”.
Ley para la Protección de Cuencas Hidrográficas y Prevención de Inundaciones (Ley 47 del 6 de junio de 1963, 12 LPRA seccs. 252-254).	“Se faculta al Gobierno para adquirir propiedades que sean necesarias y convenientes para llevar a cabo proyectos para la protección de cuencas hidrográficas y de prevención de inundaciones, y dichas propiedades o intereses se declararán de utilidad pública para todos los fines de la ley”. El Gobierno debe adquirir, bajo esta ley, una franja de por lo menos 100 metros (330

TABLA 7.4. (continuación).

Ley/Reglamento y Agencia	Descripción
Area de Prevención de Inundaciones y de Conservación de Playas y Ríos (Ley 6 del 29 de febrero de 1968, según enmendada).	pies) alrededor de las riberas de todos los ríos para evitar los daños que, por la edificación de urbanizaciones, están causándoles a estos cuerpos de agua. De tomarse esta medida, se evitará la sedimentación acelerada, y la deforestación de tan valiosos recursos hídricos” (Seguinot Barbosa 1998).
Ley de Arena, Grava y Piedra (Ley 132 del 25 de junio de 1968, 28 LPRC seccs. 206-220), DRNA.	Dice que no se promoverá el desarrollo de obras de control de inundaciones para el rescate de terrenos privados ni se permitirá la canalización de ríos en Puerto Rico para viabilizar proyectos con fines y propósitos privados.
Ley de Política Pública Ambiental (Ley 9 del 18 de junio de 1970, derogada por la Ley Número 416 de 22 de septiembre de 2004), JCA.	Esta ley requiere el permiso para hacer excavaciones, extracciones, remociones o dragados de los componentes de la corteza terrestre en terrenos públicos o privados.
Ley de Política Pública Ambiental (Ley 9 del 18 de junio de 1970, derogada por la Ley Número 416 de 22 de septiembre de 2004), JCA.	Crea la JCA. La Ley de Política Pública Ambiental de 2004, tiene como propósito “alentar y promover el bienestar general, para crear y mantener las condiciones bajo las cuales los seres humanos y la naturaleza puedan existir en armonía productiva y cumplir con las necesidades sociales y económicas y cualesquiera otras que puedan surgir con las presentes y futuras generaciones de puertorriqueños” (Exposición de Motivos, Ley # 416). Implanta la legislación federal sobre la calidad de las aguas, el aire, los suelos y el control de ruidos. Cita, además, precedentes internacionales ambientales como la Cumbre Mundial de Estocolmo de 1972. Las sanciones impuestas por incumplimiento con esta ley fluctúan desde los \$25 por día hasta los \$25 mil; e impone reclusión por violaciones hasta los 18 meses. Reemplazó la Ley del Fondo de Emergencia de la antigua Ley de 1970 por un Fondo de Emergencia con Recobro de Gastos. El art. 43 pretende recobrar los gastos del causante de esa contaminación. Bajo el art. 43 se pueden recobrar hasta tres (3) veces el monto total de los gastos incurridos por cualquier agencia o entidad pública o municipio. El artículo 42, por su parte, ordena a la JCA tener una línea de crédito con el Banco Gubernamental de hasta doce (12) millones quinientos mil dólares (\$12,500,000) para emergencias ambientales. (Véase, Sanciones, Tabla 7.5).

TABLA 7.4. (continuación).

Ley/Reglamento y Agencia	Descripción
Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (Ley 23 del 20 de junio de 1972, según enmendada), DRNA.	Le otorga al Secretario la facultad para “ejercer la vigilancia y conservación de las aguas territoriales, los terrenos sumergidos bajo ellas y la zona marítimo-terrestre, conceder franquicias, permisos y licencias de carácter público para su uso y aprovechamiento y establecer mediante reglamento los derechos a pagarse por los mismos”. Es esta Ley la que establece que DRNA tiene jurisdicción sobre la vigilancia, conservación y administración de los bienes de dominio público.
Ley Orgánica de la Junta de Planificación de Puerto Rico (Ley 75 del 24 de junio de 1975, según enmendada, 23 LPRA seccs. 1-520), JP.	Esta agencia se crea con el propósito de “guiar el desarrollo integral de Puerto Rico de modo coordinado, adecuado, económico, el cual, de acuerdo con las actuales y futuras necesidades sociales y recursos humanos, ambientales, físicos y económicos, hubiere de fomentar en la mejor forma la salud, seguridad, orden, convivencia, prosperidad, defensa, cultura, solidez económica y bienestar en el proceso de desarrollo, distribución de población, uso de tierras y otros recursos naturales, y en las mejoras públicas que tiendan a crear condiciones favorables para que la sociedad pueda desarrollarse integralmente”.
Ley de Vida Silvestre (Ley 70 del 30 de mayo de 1976, 12 LPRA seccs. 81-106), según enmendada por la Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico (Ley 241 del 15 de agosto de 1999), DRNA.	Declara propiedad del Estado Libre Asociado todas las especies de vida silvestre y animales que se encuentren dentro de los límites territoriales de Puerto Rico. La reglamentación de las especies migratorias y en peligro de extinción se suple con los tratados y la legislación y reglamentación de los EEUU, según apliquen. Aplica la <i>Endangered Species Act</i> , 16 USC seccs. 1531- 1544, en conjunto con nuestra Ley de Vida Silvestre para la protección de aves, crustáceos y especies amenazadas o en peligro de extinción en los estuarios de Puerto Rico.
Ley Orgánica de la Administración de Reglamentos y Permisos (ley 76 del 24 de junio de 1975, 12 LPRA seccs. 1301-1319, según enmendada), ARPE.	Se crea para realizar las funciones operacionales de la JP y velar por el cumplimiento de la legislación relacionada con planificación. Se prohíbe construir, reconstruir, alterar, demoler o trasladar edificios sin los permisos correspondientes.
Ley para la Conservación, el Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico (Ley 136 del 3 de junio de 1976, según enmendada), DRNA.	Requiere un plan para el manejo de las aguas de Puerto Rico.

TABLA 7.4. (continuación).

Ley/Reglamento y Agencia	Descripción
Ley de Vigilantes de Recursos Naturales (Ley 1 del 29 de junio de 1977), según enmendada, 12 LPRA seccs. 1201-1210, DRNA.	El Cuerpo de Vigilantes ofrece protección, supervisión, conservación, defensa y salvaguarda de los recursos naturales, orienta, guía a los ciudadanos para el cumplimiento de las leyes bajo el DRNA. Está facultado además para realizar arrestos, realizar inspecciones, ordenar la paralización de actividades que violen leyes, emite citaciones, portan armas y realizan registros relacionados con las violaciones a sus leyes, retienen e incautan toda vida silvestre y acuática. (López Feliciano 1999).
Ley de Seguridad Marítima, Inscripción de Embarcaciones y otros Fines (Ley 48 del 27 de junio de 1986) 12 LPRA seccs. 1391-1397e, según enmendada.	Propicia y garantiza el disfrute de playas, lagos, lagunas y cuerpos de agua. Vela por el bienestar y seguridad de ciudadanos en sus actividades recreativas y provee para que se tomen las medidas necesarias de protección.
Ley de Navegación y Seguridad Acuática de Puerto Rico (Ley 430 del 21 de diciembre de 2000), 12 LPRA secc. 1403 y ss.	Establece un programa de seguridad marítima y acuática que provea, entre otros, para el adiestramiento y educación a los operadores de embarcaciones, naves, o vehículos de navegación y a la ciudadanía en general sobre las medidas de seguridad que deben observarse en los cuerpos de agua, balnearios y áreas aledañas. Mantiene, además, un sistema de certificación, inscripción y numeración de embarcaciones, naves, o vehículos de navegación. Coordina planes y programas de vigilancia preventiva con la Policía de Puerto Rico, el Cuerpo de Vigilantes de Recursos Naturales, el Servicio de Guardacostas, la Autoridad de los Puertos y la Guardia Municipal del municipio correspondiente. Mantiene un sistema de boyas o marcadores flotantes delimitando las áreas designadas como áreas reservadas para bañistas, protección de recursos naturales o de alto riesgo.
Ley del Patrimonio Natural de Puerto Rico (Ley 150 del 4 de agosto de 1988, 12 LPRA seccs. 1225-1241), DRNA.	Su propósito es identificar y adquirir terrenos, comunidades naturales y hábitats que proveen protección y alberguen la vida silvestre, así como también los que son esenciales para la sobrevivencia y la protección de la flora y fauna que son vulnerables o estén en peligro de extinción, y cualquier otro terreno que el Programa determine que debe conservarse por su valor natural.
Ley de Agrimensura, Ingeniería y Arquitectura en Puerto Rico (Ley 173 de 12 de agosto de 1988).	Establece que es labor pericial del agrimensor la delimitación, delineación y localización de líneas costaneras y ubicación de cuerpos de agua.
Reglamento para el aprovechamiento, vigilancia, conservación y administración de las aguas	Establece los criterios generales que definen los componentes de los bienes de dominio público,

TABLA 7.4. (continuación).

Ley/Reglamento y Agencia	Descripción
territoriales, los terrenos sumergidos bajo éstas y la zona marítimo-terrestre (Reglamento Núm. 4860 de 1992).	presentando ejemplos de los sistemas naturales y de los bienes.
Ley sobre Acceso a Playas, Ley Núm. 14 de 7 de febrero de 1979.	Dispone que todo desarrollo de terrenos colindantes a las playas tiene que proveer acceso público a la playa, como condición previa a la aprobación de la ARPE.
Ley para la Designación de Humedales (Ley 314 del 24 de diciembre de 1998), JP.	Ordena a la JP a designar como reserva natural del Caño o Ciénaga Tiburones y aquellas tierras que sean identificadas por el DRNA como humedales, conforme a la ley, entre ellas las que pertenecen a la Autoridad de Tierras (López Feliciano 1999).
Ley de Ecoturismo de Puerto Rico (Ley 340 del 31 de diciembre de 1998, según enmendada), DRNA.	Se incentiva el uso adecuado de los recursos ecoturísticos, desarrollo de estas áreas que logren reconocimiento nacional e internacional. Promover la conservación de nuestros recursos naturales de manera sustentable, la educación ambiental y el desarrollo de una mayor conciencia ecológica y el desarrollo y el involucramiento [sic] económico de la comunidad.
Ley para la Protección, Conservación y Manejo de los Arrecifes de Coral de Puerto Rico (Ley 147 del 15 de julio de 1998), DRNA.	El Artículo 2 hace una Declaración de Política Pública: “Se declara y reitera que es política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico la protección, preservación y conservación de los arrecifes de coral en las aguas territoriales de Puerto Rico, para el beneficio y disfrute de ésta y futuras generaciones. Se declara además, que el interés público urge evitar y prevenir el daño continuo e irreparable de los arrecifes de coral y de la vida marina asociada al mismo. El DRNA promoverá el desarrollo de planes de manejo sostenible para los arrecifes de coral de Puerto Rico.
Reglamento para la Presentación, Evaluación y Trámite de Documentos Ambientales (Reglamento 6026), JCA.	Incluye definiciones de las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA), y sus clases, de las Evaluaciones Ambientales y las Exclusiones Categóricas, de Impacto Acumulativo, Impacto Ambiental e Impacto Ambiental Significativo, tan importantes para los procesos de consultas de ubicación de proyectos. Declara su conformidad con lo requerido en la Ley de Política Pública Ambiental para que los aspectos ambientales sean tomados en consideración. Dispone, además, en la Regla 211(F), “utilizar los medios prácticos consistentes con los requisitos establecidos [...] y otras consideraciones de Política Pública para restaurar y mejorar la calidad del ambiente y evitar o minimizar cualquier posible efecto adverso de sus acciones sobre la calidad de éste.

TABLA 7.4. (continuación).

Ley/Reglamento y Agencia	Descripción
Reglamento para el Control de la Contaminación Atmosférica (Reglamento 5300), JCA.	Para conservar la calidad natural del aire y para prevenir, eliminar y controlar la contaminación atmosférica, y establecer normas y requisitos para la prevención, eliminación y control de la contaminación atmosférica, de conformidad con la Ley de Política Pública Ambiental.
Reglamento de Estándares de Calidad de Agua (Reglamento 4282), marzo 2003, JCA	Promulgado por la Resolución R-03-05 para mejorar, mantener y preservar la calidad de las aguas de Puerto Rico de manera que sean compatibles con las necesidades sociales y económicas de Puerto Rico.
Reglamento para el Control de la Erosión y la Sedimentación (Reglamento 5754), 30 de septiembre de 1997, JCA.	Promulgado mediante Resolución R-97-46-2 para controlar la erosión causada por las actividades humanas y prevenir la sedimentación y contaminación de los cuerpos de agua de Puerto Rico.
Reglamento de Zonificación de la Zona Costanera y de Accesos a las Costas y Playas de Puerto Rico (Reglamento 17), JP.	Toma conocimiento de la tendencia a desarrollar terrenos sin acceso público a las costas y playas.
Reglamento de Zonificación Número 4, JP.	Reconoce la responsabilidad impuesta por la Ley Orgánica de la JP (Ley Núm. 75) para el desarrollo integral que fomente la mejor forma de salud, seguridad, orden, convivencia y bienestar para los actuales y futuros habitantes, promulgando este Reglamento “para guiar y controlar el uso y desarrollo de terrenos en Puerto Rico”.
Terrenos en Áreas Susceptibles a Inundaciones (Reglamento Número 13), JP.	Se dispuso para armonizar este Reglamento con la Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme, la Ley de Municipios Autónomos y las normas de FEMA, luego de evaluar los cambios en las normas relacionadas con las áreas inundables. Éste impone un mínimo de requisitos, pero advierte que podrán ser mayores los requisitos cuando se amenace la vida, hacienda, salud y seguridad pública.
Ley sobre Control y Contaminación de Aguas, Ley Núm. 142 de 1 de mayo de 1950, 24 LPRA secc. 591 y ss., Departamento de Salud.	Secc. 595 establece la prohibición contra la contaminación de las aguas: “[s]erá ilegal que persona alguna, directa o indirectamente, arroje, descargue, derrame o vierta, o haga o permita que se arroje, descargue, derrame o vierta, en las aguas, materias orgánicas o inorgánicas capaces de contaminarlas o capaces de conducir a que se contaminen en forma tal que se coloquen fuera de las normas mínimas de pureza que el Secretario de Salud establezca.

RECUADRO 4. Delitos ambientales del Código Penal de Puerto Rico.

En el delito de contaminación ambiental del art. 242, Código Penal de PR de 2004 (CPPR 2004), constituyen elementos del delito realizar o provocar de manera directa o indirecta emisiones, radiaciones o vertidos de cualquier naturaleza en el suelo, la atmósfera, aguas terrestres superficiales, subterráneas o marítimas. Las conductas ocurren cuando se viola alguna ley, reglamento o permisos. Es elemento del delito también que se ponga en “grave peligro la salud de las personas o el equilibrio biológico de los sistemas ecológicos o del medio ambiente”. Conlleva pena de delito grave de 4º grado. El tribunal podrá imponer, además, restitución.

Se agrava el delito de contaminación ambiental, constituyendo el delito de contaminación ambiental agravada (art. 243 del CPPR 2004), cuando se realiza el acto sin obtener el permiso, endoso, certificación, franquicia o concesión, de manera clandestina, o se ha incumplido con las disposiciones de las autoridades para que se corrija o suspenda la violación de ley. También incluye cuando se aporte información falsa, se omita información requerida para obtener el permiso, endoso, certificación, franquicia o concesión, o impidió, obstaculizó la inspección por las autoridades. Acarrea una pena de grave de 3º grado; y, el tribunal podrá imponer además la suspensión de licencia, permiso o autorización e imponer pena de restitución.

Hay unos delitos intencionales y que también se configuran mediante negligencia, como lo son el delito de estrago y el de envenenamiento de aguas de uso público. El delito de estrago (art. 240, CPPR 2004) se comete cuando una persona pone en peligro la vida, salud, integridad corporal o seguridad de una o varias personas, o causa daño al ambiente al provocar una explosión, inundación o movimiento de tierra, al demoler un inmueble, o al utilizar gas tóxico o asfixiante, energía nuclear, elementos ionizantes o material radiactivo, microorganismos o cualquier otra sustancia tóxica o peligrosa. (Se define “tóxica” cualquier sustancia perjudicial a la salud o con capacidad destructiva). La clasificación es de delito grave de segundo grado. Si los hechos se realizan por negligencia, incurrirá en delito grave de 3º grado.

El delito de estrago va dirigido a proteger la vida y seguridad pública. Se trata de actos o actividades inherentemente peligrosas caracterizadas porque se llevan a cabo sin tomar las precauciones o porque hay la intención criminal de efectuarlas. La penalidad varía según la intención o negligencia o el *mens rea*.

El delito de envenenamiento de aguas de uso público, por su parte, se configura al poner en peligro la vida o la salud de una o varias personas, al envenenar, contaminar o verter sustancias tóxicas o peligrosas en pozos, depósitos, cuerpos de agua, tuberías o vías pluviales que sirvan para el consumo o uso humano. Acarrea pena de delito grave de 2º grado. Si se realiza por negligencia incurrirá en delito grave de 3º grado. El tribunal podrá imponer pena de restitución para este delito.

TABLA 7.5. Sanciones administrativas de la Ley de Política Pública Ambiental de 2004.

Sanciones	Infracción o Multa y Cantidades	Delito, Reclusión y Términos
Primera infracción	Multa que no exceda \$25,000 por infracción por día.	
Contumacia	Multa de \$50,000 máxima. Multa no menor de \$100 ni mayor de \$500.	Delito menos grave: declaración falsa.
Programa de desperdicios peligrosos, calidad de agua, control de inyección subterránea.	Multa adicional a la reclusión no menor de \$10,000 diarios ni mayor de \$25,000 por violación por día.	Delito grave: término fijo de reclusión 9 meses. Agravante: 1 año máximo. Atenuantes: 6 meses y 1 día.
Programa permisos de operación de aire, título V, Ley Federal de Aire Limpio.	Multa no exceda \$25,000 por infracción por día. Multa por declaraciones falsas: no menos de \$1,000, ni más de \$25,000 por violación por día.	Declaraciones, representaciones o certificaciones falsas en avisos, informes o permisos, o que haga inoperante cualquier equipo o método de muestras. Delito Grave- pena fija reclusión 1 año. Agravante: hasta 18 meses máximo Atenuantes: 6 meses máximo.

TABLA 7.6. Penas que impone el Código Penal de 2004 para las personas naturales (Artículo 66 y 67, CPPR 2004). Espacios en blanco indican que no aplican.

Clasificación del Delito	Reclusión en Años Naturales	Multa	Libertad Bajo Palabra	Alternativa a la Reclusión
Grave 1 ^{er} grado.	99 años.			Consideración luego de cumplir 25 años naturales, ó 10 años naturales si es menor sentenciado como adulto. Pena Especial.
Grave 2 ^{do} grado.	Término fijo no menor de 8 años y 1 día, ni mayor de 15 años.			
Grave 3 ^{er} grado.	Término fijo, no menor de 3 años y un día ni mayor de 8 años.		Consideración al cumplir 60 por ciento del término de la reclusión impuesta.	Ver Pena Especial.

TABLA 7.6. (continuación)

Clasificación del Delito	Reclusión en Años Naturales	Multa	Libertad Bajo Palabra	Alternativa a la Reclusión
Grave 4 ^{to} grado.	Término fijo no menor de 6 meses y un día, ni mayor de 3 años.		Consideración al cumplir 50 por ciento de la reclusión impuesta.	Ver Pena Especial.
Delito menos grave.		Multa individualizada (según situación económica), no > de 90 días-multa, o pena/día servicios comunitarios no > de 90 días, o reclusión, o restricción dom. en días naturales hasta 90, ó combinación no > de 90 días.		En los delitos graves de 3 ^{ro} y 4 ^{to} grado, y en las tentativas del delito grave de 2 ^{do} grado, o combinación de varias de las siguientes: restricción terapéutica, restricción dom., libertad a prueba o servicios comunitarios. En los delitos graves de 3 ^{ro} y 4 ^{to} grado, y en las tentativas del delito grave de 2 ^{do} grado, o combinación de varias de las siguientes: restricción terapéutica, restricción domiciliaria, libertad a prueba o servicios a la comunidad.
Pena Especial.	Pena por comisión del delito y multa (para Fondo Especial a Víctima de Delito).	\$100 por delito menos grave y \$300 por delito grave.		

TABLA 7.7. Multas que dispone el Código Penal de 2004 a personas jurídicas según la clasificación del delito.

Clasificación del Delito	Por Ciento de la Multa Equivalente al Ingreso Anual
Delito Grave de 1 ^{er} Grado	10
Delito Grave de 2 ^{do} Grado	8
Delito Grave de 3 ^{er} Grado	6
Delito Grave de 4 ^{to} Grado	4
Delito Menos Grave	2

¿Existe algún compromiso legal de las agencias de proveer informes sobre las condiciones ambientales del país al Gobierno?

La Ley de Política Pública Ambiental de 2004, Ley Núm. 416 del 22 de septiembre de 2004, dispone en el artículo 6 de la misma que la Junta de Calidad Ambiental (JCA) “transmitirá anualmente a la Asamblea Legislativa y al Gobernador un informe sobre la calidad del medio ambiente” en Puerto Rico. La JCA tiene el deber ministerial de presentar este informe, esto es, no es discrecional de la agencia. Igualmente, esta ley faculta a la JCA no sólo para reglamentar sino también fiscalizar y establecer “los requisitos adecuados para asegurar el cumplimiento por todo el Gobierno del Estado Libre Asociado de Puerto Rico con las disposiciones” de esta Ley. (Prólogo, Informe sobre el estado y condición del ambiente en PR, JCA, 2004)

MANEJO

¿Qué agencias manejan terrenos en las costas de Puerto Rico?

Las agencias que manejan terrenos en las costas de Puerto Rico son principalmente el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y el Servicio de Pesca y Vida Silvestre (Fig. 7.3). Sin embargo, hay muchas agencias adicionales con injerencia en el manejo de la costa. Algunos ejemplos son:

- Administración de Reglamentos y Permisos (ARPE)
- Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA)
- Autoridad de Tierras Agrícolas (ATA)
- Autoridad de Terrenos Públicos (ATP)
- Autoridad de los Puertos (AP)
- Comisión de Servicio Público (CSP)
- Compañía de Fomento Industrial (CFI)
- Compañía de Parques Nacionales (CPN)

- Compañía de Turismo de Puerto Rico (CTPR)
- Consejo de Pesca del Caribe (CPC)
- Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (CIE)
- Defensa Civil (DC)
- Departamento de Agricultura (Programa Desarrollo Pesquero)
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA)
- Departamento de Transportación de los Estados Unidos (DOT)
- Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP)
- Gobiernos Municipales (GM)
- Guardia Costanera de los Estados Unidos (USCG)
- Junta de Calidad Ambiental (JCA)
- Junta de Planificación (JP)
- Policía de Puerto Rico
- Programa de Manejo de la Zona Costanera (PMZC)
- Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS)
- Servicio Geológico de los Estados Unidos, División Marina (USGS)
- U.S. Border Patrol
- Instituto de Cultura Puertorriqueña (Consejo para la Protección del Patrimonio Arqueológico y Terrestre de Puerto Rico).

¿Qué mecanismos de coordinación existen para que todas estas agencias trabajen en armonía y de acuerdo a un plan global?

No existe ningún mecanismo de coordinación entre agencias para que trabajen de acuerdo a un plan global.

Aparte de la exposición al salitre, ¿Qué problemas ocasiona vivir en la costa?

Los principales problemas ocasionados por vivir en la costa lo son la vulnerabilidad a tormentas, marejadas, oleajes, tsunamis, inundaciones y erosión costera.

TABLA 7.8. Hoja de cotejo de requisitos y sus fundamentos jurídicos al investigar el expediente administrativo ante las agencias. Junta de Planificación es JP.

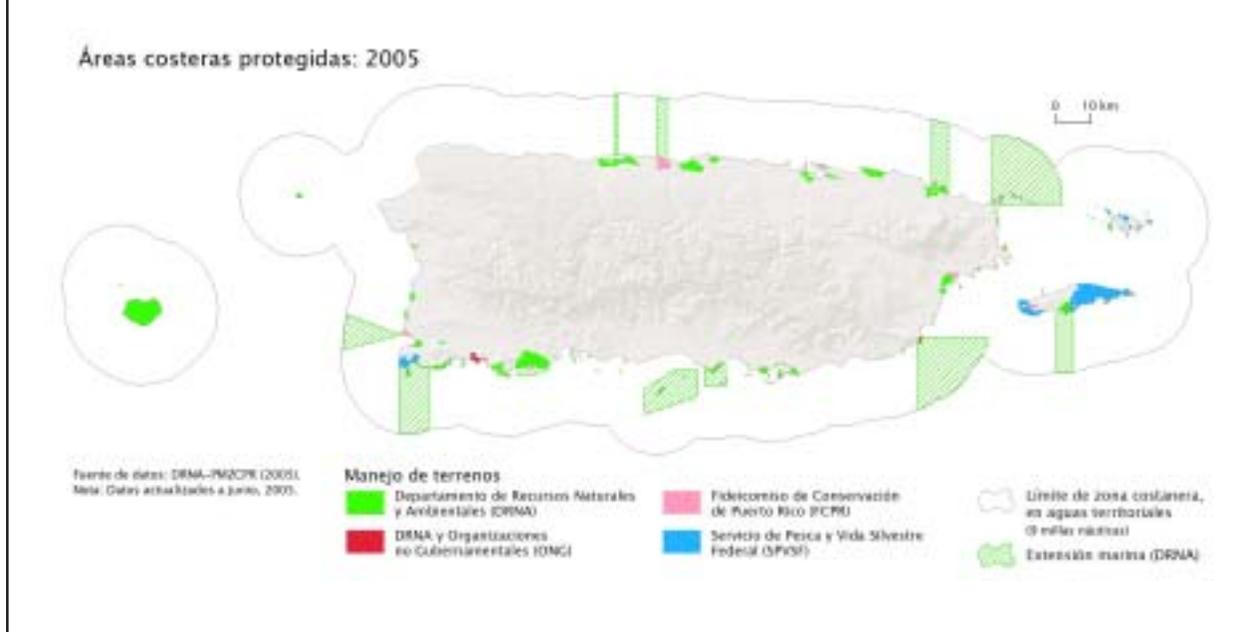
Ante las Agencias de Puerto Rico

1. ___ En el plano sometido y certificado por un agrimensor autorizado en PR, revisar si hay 6 metros de servidumbre de vigilancia libre de construcción; y el restante de dominio público marítimo-terrestre.
2. ___ Cumplimiento con Reglamento 17 de la JP: con el acceso a la playa.
3. ___ Estudios de sombra (Reglamento 17).
4. ___ Cumplimiento con el Reglamento 25 de JP: Siembra, Corte y Reforestación.
5. ___ Según Reglamento 6031- que se sigan los trámites en la JP (por ej., para la consulta de ubicación).
6. ___ Vistas Públicas- notificación adecuada (para consultas de ubicación), según lo requiere el Reglamento de Zonificación de la JP.
7. ___ Cumplimiento con la Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme (LPAU), en cuanto a notificaciones y períodos para someter escritos.
8. ___ Notificaciones a partes con interés (en especial, a los interventores). Fundamento: LPAU y Derecho Administrativo en general.
9. ___ Cometarios (usualmente, de oposición) al proyecto de parte de la comunidad en las vistas públicas. Fundamentos: LPAU, Reglamento de Zonificación y parte del Debido Proceso de Ley (Derecho Constitucional).
10. ___ Plan de Uso de Terrenos- Reglamento de Zonificación y el cumplimiento con las variaciones.
11. ___ DIA o EA- Si es DIA verificar si es en etapa inicial del proyecto; si tiene estudio hidrológico-hidráulico, requerido por el Reglamento #13 de Zonas Susceptibles a Inundación.
12. ___ Que las condiciones que impone la agencia en sus resoluciones concuerden con el Plano del Proyecto aprobado y lo sometido en la Consulta de Ubicación.
13. ___ Que aparezcan los documentos en el expediente administrativo a los cuales se hace referencia (Derecho Administrativo).
14. ___ Permisos y endosos para el proyecto. La JP, como agencia proponente, tiene que pedirle a la JCA una Evaluación Ambiental bajo la Ley de Política Pública Ambiental. Dependiendo del proyecto, tienen que aparecer los endosos o la negación de los endosos por carta o por cualquier otro documento con el sello oficial de la agencia que lo emite como, por ej., de ___ ICP, ___ Agricultura, ___ Turismo, ___ Autoridad de Carreteras, ___ Municipio donde pretende ubicarse el proyecto, ___ AAA. Y, especialmente, del ___ DRNA y sus condiciones; y la Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS), si está en la zona marítimo-terrestre.
15. ___ El DRNA tiene que haber ordenado un Plan de Mensura. Según el Reglamento #17 (Zonificación de la Zona Costanera) y el Reglamento #4860, Art. 3.1 (aparte de la Ley y Reglamento Hipotecario), tiene que haber un deslinde, una certificación del plano y la notificación a todos los dueños de los predios colindantes, sino es NULO el proceso.
16. ___ Densidad de la población y clasificación del proyecto, y si está clasificado como proyecto de desarrollo extenso (de acuerdo con el Censo); y las clasificaciones en los Planes de Uso de Terrenos.
17. ___ Cabida y localización exacta (descripción registral) del proyecto y que concuerde con planos y descripción en escritura.
18. ___ Escritura pública, o en su defecto, contrato de compraventa; Estudio de Título.
19. ___ En el Departamento de Estado, registro bona fide (incorporada, que rinda informes anuales, etc.). Si es una corporación dueña del proyecto, tiene que cumplir con la Ley de Corporaciones, tiene que saberse quiénes componen la Junta de Directores, su agente general (con capacidad para recibir emplazamientos).
20. ___ Compañías de seguros y sus representantes en Puerto Rico. Esta información podría conseguirla en la Oficina del Comisionado de Seguros de Puerto Rico.
21. ___ Si la agencia se resiste a someter información y es una agencia local, aunque no hay formularios de *Freedom of Information Act* (FOIA), es su derecho constitucional a obtener información y acceso público a los expedientes. No obstante, las agencias pueden requerirle que someta carta o permiso a la división o al Secretario o Presidente de la agencia o junta. Si nada de esto le funciona, acuda al Procurador del Ciudadano (Ombudsman).

Ante Las Agencias Federales

Debe completar el formulario de FOIA para cada agencia. Puede acceder el formulario por internet, dependiendo de la agencia y sus subdivisiones. Ejemplos de las agencias federales que inciden en la zona marítimo-terrestre, playas y demás recursos naturales: Servicio Forestal, Agencia de Protección Ambiental, Fish & Wildlife Service, Cuerpo de Ingenieros, *National Oceanic and Atmospheric Administration*, Guardia Costanera, Departamento de Justicia, Departamento de Defensa.

FIGURA 7.3. Agencias u organizaciones responsable por el manejo de terrenos protegidos en la zona costanera de Puerto Rico (López Marrero y Villanueva Colón 2006).



¿Por qué hay tantos edificios y casas construidas tan cerca del mar?

La principal razón es porque en la segunda mitad del siglo XX cuando la especulación en bienes raíces se convierte en una importante fuente de acumulación de capital, los terrenos cercanos al mar, que en los tiempos en que la agricultura constituía la base económica del país se consideraban como los menos apetecibles por no ser cultivables, se convirtieron en los más codiciados por su valor paisajístico, turístico y recreativo.

¿Tiene todo el mundo derecho de acceso a los bienes de dominio público marítimo-terrestre incluyendo la zona marítimo-terrestre?

La Ley Número 3 de Puerto Rico del 22 de agosto de 1990 establece que “Es política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico garantizar a sus ciudadanos el libre y continuo acceso marítimo y peatonal a la zona marítimo-terrestre establecida en nuestro ordenamiento jurídico, así como a los predios de dominio público destinados a uso público y colindantes a dicha zona. Se reconoce y reafirma el derecho

del pueblo en general al libre uso y disfrute de las playas que nos circundan.” Por ende, todo el mundo tiene derecho de acceso a los bienes de dominio público marítimo-terrestre incluyendo la zona marítimo-terrestre.

¿Qué pasa si lo que es hoy terreno privado es mañana invadido por el mar?

Si el mar invade un terreno privado, dicho terreno se convierte en terreno público, parte de la zona marítimo-terrestre o terrenos sumergidos.

¿Y si por el contrario, se le gana terreno al mar cuando éste se retira?

Si se le gana terreno al mar, el terreno continúa siendo del pueblo de Puerto Rico conforme a la enmienda de la Ley de Puertos de Puerto Rico del 1968.

¿Qué se consideran facilidades de acceso físico a la playa?

Facilidades de acceso físico a la playa lo son estacionamientos, servicios sanitarios, agua potable, servicios de salvavidas, primeros

auxilios, seguridad y vigilancia. Antes se consideraba acceso un camino o callejón para llegar a la playa, pero la definición de acceso actual incluye todos los servicios que esperamos para que nuestra estadía sea una placentera y segura.

¿Qué se considera acceso visual a la playa?

El acceso visual a la playa consiste en no tener barreras arquitectónicas que impidan la observación de la playa desde la carretera.

¿Qué pueden hacer el ciudadano y la ciudadanía común para ayudar a que se mantengan nuestros recursos naturales, nuestro sistema de playas y otros bienes de dominio público marítimo-terrestre?

El ciudadano y la ciudadanía deben mantenerse informados, participando en vistas públicas, expresando su punto de vista, votando inteligentemente, expresando su sentir a los oficiales electos y a las agencias con injerencia sobre la zona marítimo-terrestre y exigirle a las

agencias del gobierno que hagan su trabajo para así mantener los recursos naturales y sistema de playas. El contar con un público bien informado es esencial para resolver los problemas ambientales porque la situación solo puede mejorar si se producen cambios significativos en nuestros ideales y comportamiento. Se requieren cambios de conducta con referencia a nuestra relación con nuestro entorno el cual ahora parece ser uno adversarial, de lucha contra la naturaleza, en vez de acomodo y protección a los sistemas naturales que son un capital natural que nos compete conservar y utilizar juiciosamente. La buena administración de los recursos es una cuestión de ética. El buen gestor debe tener en cuenta 1) el interés público; 2) las limitaciones y restricciones que impone el medio, incluso protección contra peligros ambientales y 3) el imperativo de desarrollar de forma integrada y sostenible, sin destruir el propio recurso y sin disminuir o degradar el capital natural, tomando decisiones aisladas, fragmentadas y cuyos beneficios son a corto plazo.

EFFECTOS ANTROPOGÉNICOS EN LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE

¿Qué amortiguadores artificiales están disponibles para proteger las costas?

Hay tres tipos de amortiguadores o maneras de estabilizar el impacto del mar en la costa (Pilkey y Dixon 1996). Estos son las **barreras estructurales**, el **relleno** (restauración o alimentación) **de playas** y la **relocalización de edificios** para dejar que la playa cumpla su función amortiguadora.

¿Cuál es la defensa más efectiva para proteger la costa?

La defensa más efectiva para proteger la costa son los sistemas naturales como los arrecifes de coral, los pastos marinos, los manglares, las dunas de arena y las playas. Estos sistemas son amortiguadores naturales. La playa protege la costa de la implacable fuerza de las olas y se protege a sí misma de ser destruida durante tormentas. Los granos de arena se pueden comparar con una correa amortiguadora móvil. Cuando la dinámica de la playa se interrumpe y la arena no fluye debidamente por obstáculos o cambios estructurales en la costa, la playa se pierde. Por lo tanto, se pierde la defensa natural de la costa, dándole lugar a que las olas aumenten la erosión de la misma.

¿Qué son barreras estructurales?

Las barreras estructurales son construcciones que se hacen con el fin de proteger un edificio de la entrada del mar en la costa. Si no se construyeran edificios tan cerca de la playa estos problemas no surgirían. El introducir una barrera estructural en una playa es comenzar un ciclo vicioso: la barrera inevitablemente sufre daños por el implacable impacto de las olas (Recuadro 1). Estos daños causan que se hagan arreglos que resultan en que la barrera se agrande ya que el impacto del mar cada vez es más fuerte dado a que el amortiguamiento natural de la playa

ya no está presente. Una vez una barrera estructural es construida su presencia es prácticamente permanente pues es muy costoso retirarla. Sin embargo, también es costoso mantener la barrera estructural.

¿Cuáles son ejemplos de barreras estructurales?

Algunos ejemplos de barreras estructurales lo son: los **muros de contención** (*seawalls*), los **espigones** (*groins*) y los **rompeolas** (*breakwaters*). La tabla 8.1 ilustra los pros y los contras de las barreras estructurales.

¿Qué son tetrápodos y dolos?

Antiguamente las defensas o barreras estructurales consistían de estructuras tales como diques sólidos, impermeables y emergentes. Hoy día se aboga por el uso de estructuras sumergidas y permeables. Los tetrápodos y dolos son estructuras de concreto moldeado usados para revestir sectores de costa sujetos a fuerte erosión. Por su peso y su configuración forman estructuras de gran estabilidad pero representan el enroscamiento del litoral.

¿Qué es un muro de contención (seawall)?

Un muro de contención (*seawall*) es una pared construida en la costa, paralela a la misma, con el fin de proteger una estructura del impacto de las olas. El muro de contención es la mejor manera de salvar cualquier propiedad pobremente ubicada en la costa, pero pone en riesgo la sobrevivencia de la playa. Las figuras 8.1 y 8.2 demuestran la construcción correcta de dos tipos de muros de contención.

¿Qué efectos puede tener un muro de contención en la costa?

Los muros de contención en la costa pueden intensificar los procesos de pérdida de la playa

Tabla 8.1. Argumentos a favor y en contra de las barreras estructurales (basado en Bush et al. 1995).

A Favor	En Contra
<ul style="list-style-type: none"> • Proteje la propiedad temporariamente. • Bajo costo de mantenimiento, si es construída debidamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eventualmente causa la pérdida de la playa recreativa en lugares donde ya existe la erosión. • Aumenta la erosión en los lados de la pared y/o corriente abajo. • Limita el acceso a la playa. • Pérdida de la estética (belleza natural). • Costo adicional pues requiere mantenimiento. • Los escombros de la barrera se convierten en objetos peligrosos en la playa y pueden perjudicar las estructuras que proteje durante tormentas. • Eventualmente falla y retorna el problema.

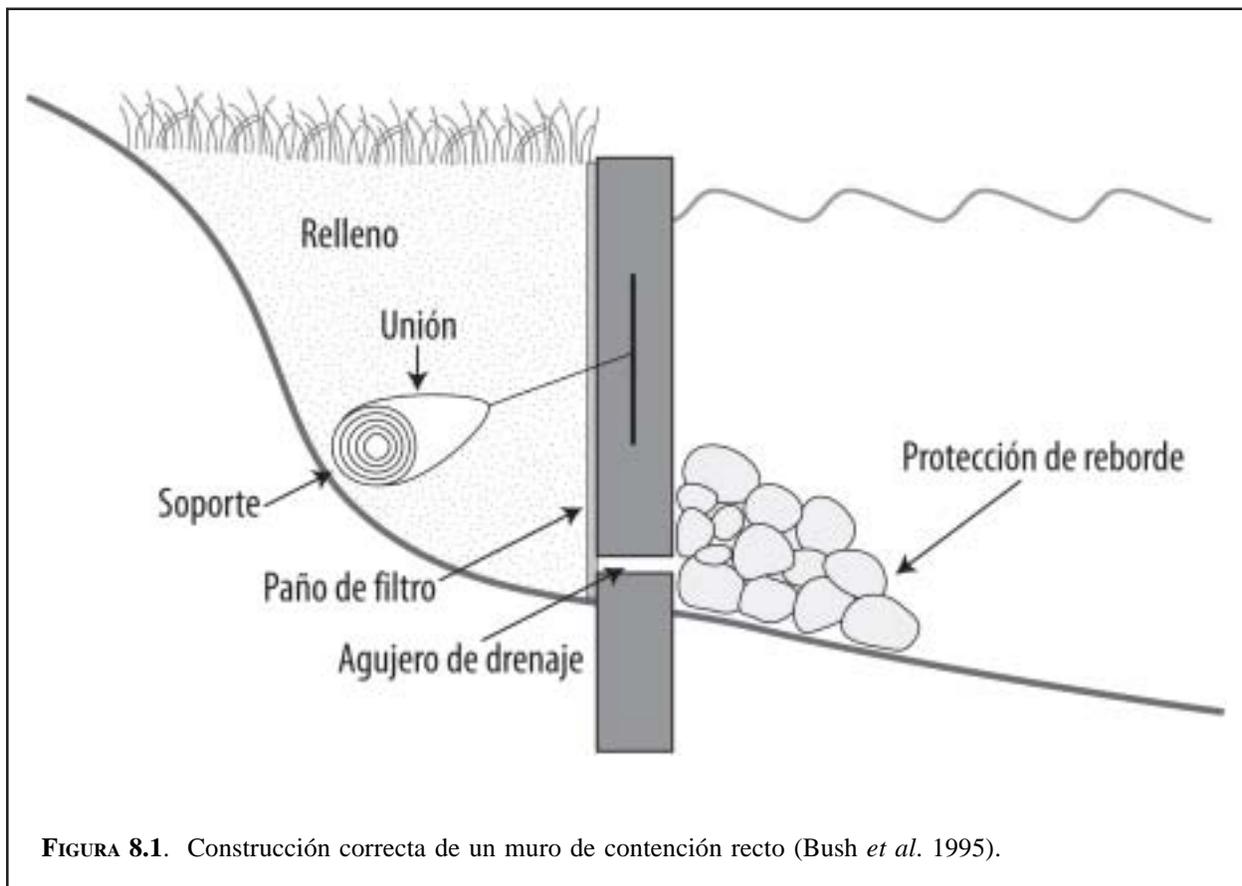
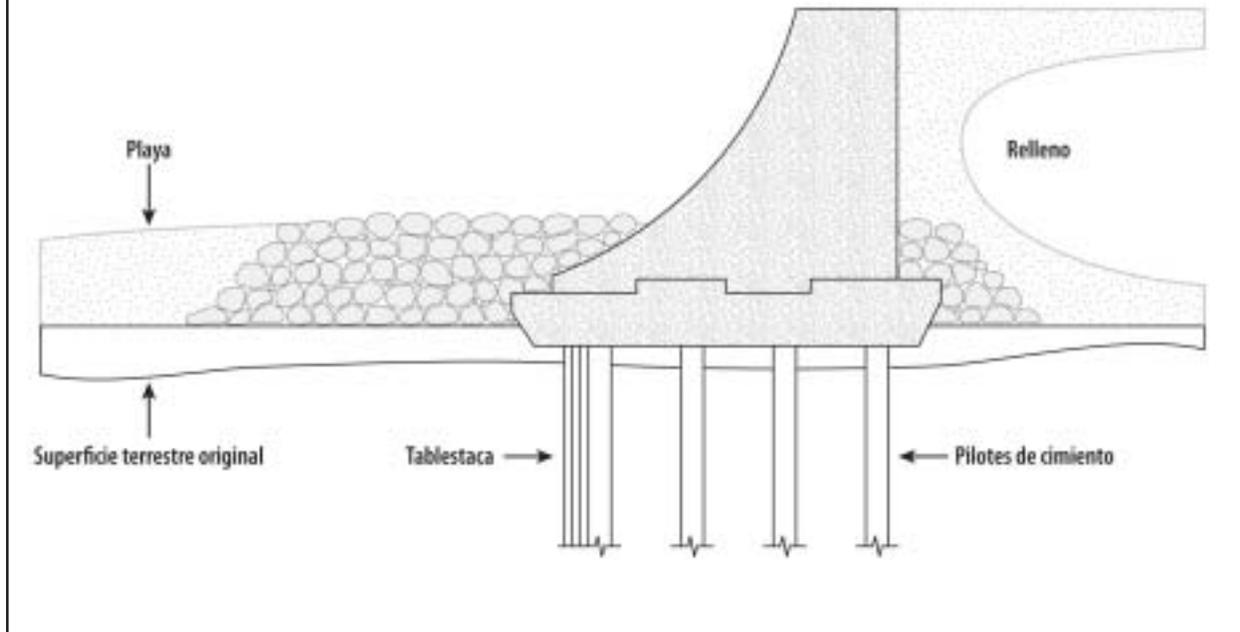


FIGURA 8.2. Construcción correcta de un muro de contención curvado (Bush *et al.* 1995).



durante tormentas (Pilkey y Dixon 1996). Los muros provocan fenómenos de reflexión aumentando la fuerza de la resaca. La energía de la ola se intensifica en vez de ser disipada causando que más arena sea llevada de la playa hacia la plataforma insular (Fig. 8.3). Mientras la playa frente al muro de contención se achica hay menos arena disponible para suplir las playas adyacentes ya que la arena tierra adentro del muro no es accesible a la playa. Esto implica que no sólo se achica o desaparece la playa donde se encuentra el muro, sino que también causa la erosión de las playas cercanas.

¿Qué es un gavión?

Un gavión es un tipo de muro hecho con mallas metálicas en forma de cestones que se rellena con tierra o piedras. Su construcción resulta económica, pero nunca es efectiva pues la malla metálica se corroe y se rompe con el impacto de las olas (de las cuales está protegiendo a algún edificio o estructura) dejando la playa contaminada con piedras o tierra, pedazos de alambre y la estructura sin protección. Por ser estructuras impermeables favorecen la reflexión

del oleaje y la erosión frente a la estructura. Son fáciles de socavar y requieren constante mantenimiento.

¿Qué es un espigón (groin)?

Un espigón (groin) es una pared construida perpendicular a la costa para atrapar la arena que se mueve lateralmente en la orilla (Fig. 8.4). Causa la erosión de las playas adyacentes por la falta del flujo de arena 'corriente abajo' (Pilkey y Dixon 1996).

¿Qué es un jetty?

Un jetty es un tipo de espigón que se utiliza para estabilizar una desembocadura, para proteger una bahía o como muelle y rompeolas. También pueden provocar la erosión al cortar el suministro de arena si no se provee para removilizar la arena en movimiento por el litoral mediante bombas o máquinas excavadoras. La arena que se acumula a un lado debe hacerse pasar al otro para poder equilibrar las pérdidas debido a la deriva de playa aguas abajo.

FIGURA 8.3. Ilustración de la evolución y efecto de un muro de contención en la costa (Bush *et al.* 1995). Estos muros generalmente no perduran y requieren mucho mantenimiento para que funcionen como se espera.

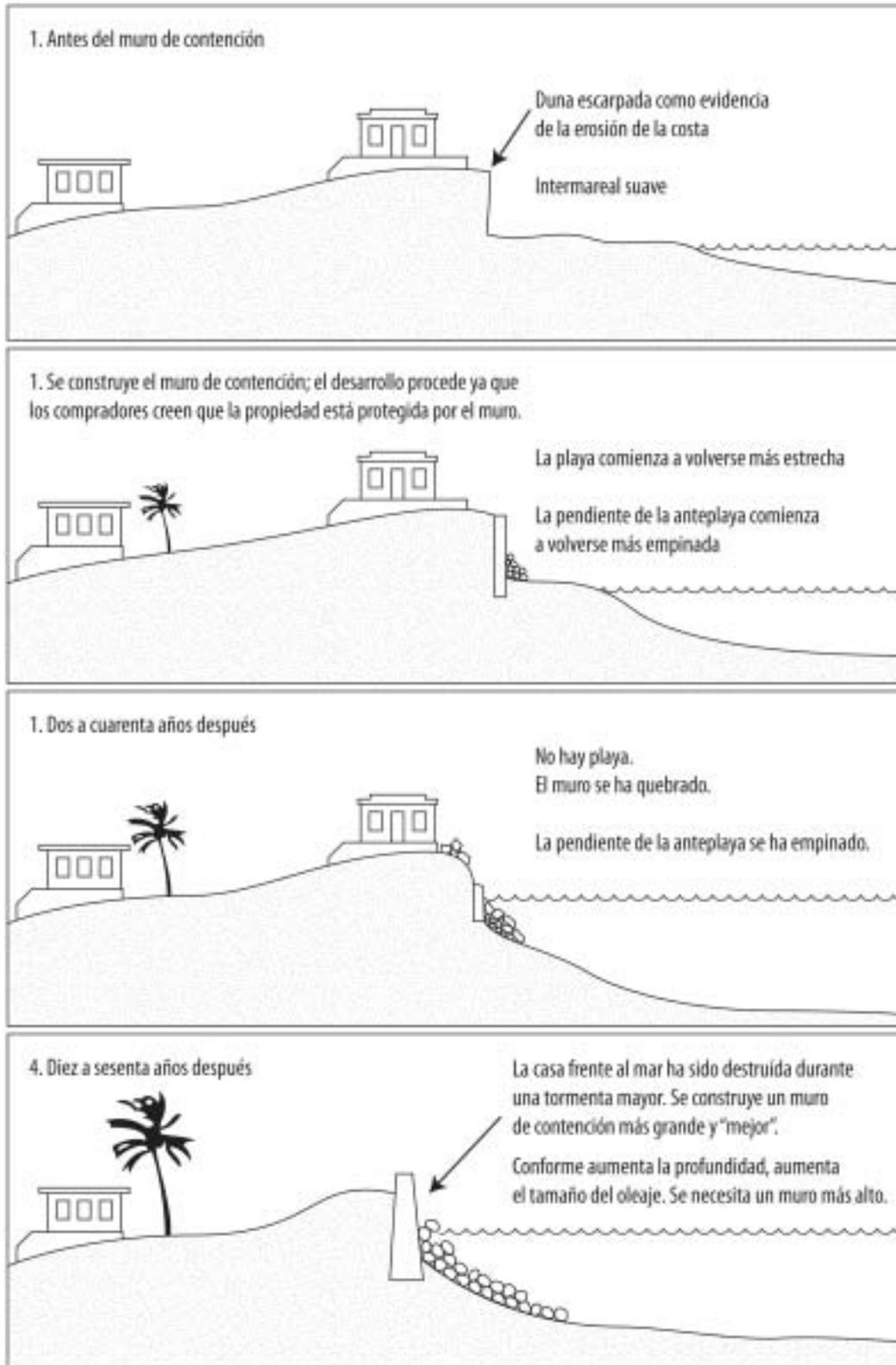
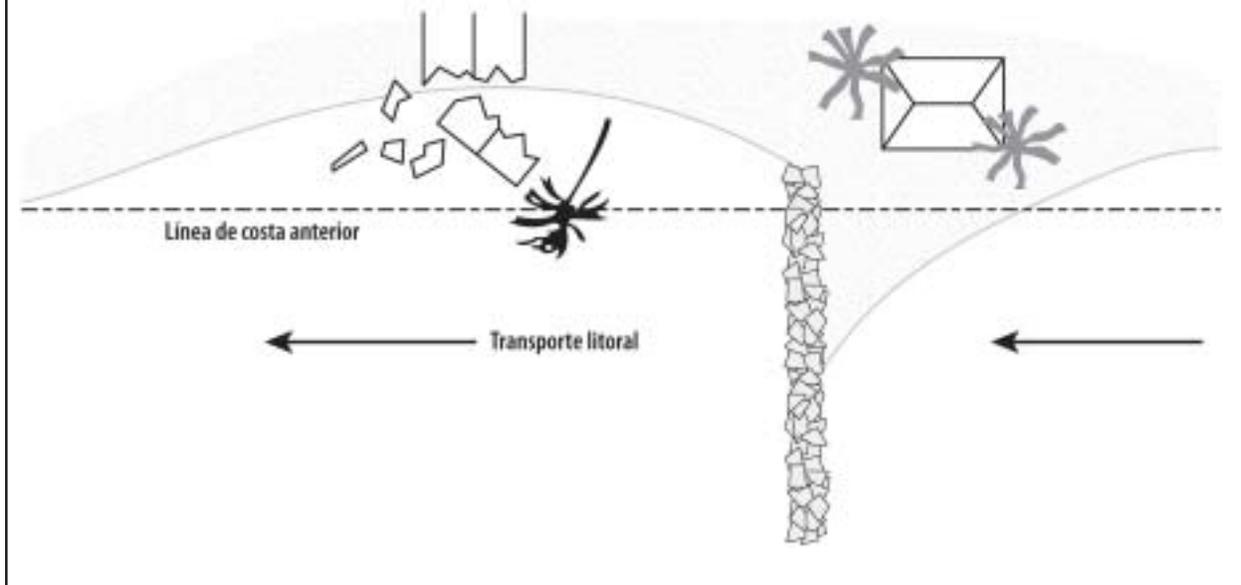


FIGURA 8.4. Ilustración de un espigón y del efecto erosivo que tiene en playas adyacentes (Bush *et al.* 1995). Nótese que para promover la playa en la derecha, se destruye la playa en la izquierda.



¿Qué es un rompeolas?

Un rompeolas es una pared paralela a la costa construida en el mar con el fin de reducir la energía de las olas en su lado que da hacia tierra de manera de proteger un pedazo de costa del embate del oleaje. Esto trae como consecuencia que la arena que se mueve a lo largo del litoral se acumule entre el rompeolas y la playa, formando lo que se conoce como una tómbola (Fig. 8.5). El rompeolas reduce y muchas veces detiene la erosión de arena, resultando en la protección de los edificios y estructuras frente a la playa y en una playa recreativa más grande (Pilkey y Dixon). Sin embargo, la falta de flujo de arena de un extremo al otro del rompeolas causa la erosión de las playas adyacentes. Esto es más significativo cuando la tómbola se extiende hasta el rompeolas. Los rompeolas pueden cambiar las corrientes del área convirtiéndose en amenazas para los nadadores, además pueden causar la acumulación de detrito y basura en el lado protegido o zona de sombra.

¿Cuán efectivas son las barreras estructurales?

Los espigones son, en general, una amenaza a las playas, y desde hace muchos años están prohibidos en muchos estados de los Estados Unidos de América. Los *jettys* pueden ser necesarios si es que se necesita estabilizar una entrada, o desembocadura al mar. (Su impacto se puede reducir si se establece un programa que consistente y mecánicamente mueva la arena del lado corriente arriba al lado corriente abajo). El impacto de las paredes o muros de contención, es mucho más complejo. En una playa en donde existe una erosión crónica debido a otros efectos, a la larga la efectividad del muro depende de lo que se quiera conservar. O se conserva la playa o se conserva el edificio o estructura en la costa, pero los dos no se pueden conservar simultáneamente (Pilkey y Dixon 1996). En este caso una barrera estructural causa la eventual desaparición de la playa, lo que a su vez aumenta el impacto de las olas en la estructura, poniendo en riesgo su función como barrera (Fig. 8.6), algo que se observa hoy día en Rincón. Pero un muro de contención que sea construido a tal

FIGURA 8.5. Ilustración de un rompeolas y del efecto erosivo que tiene en las playas adyacentes, ej., la playa a la izquierda (Bush *et al.* 1995).

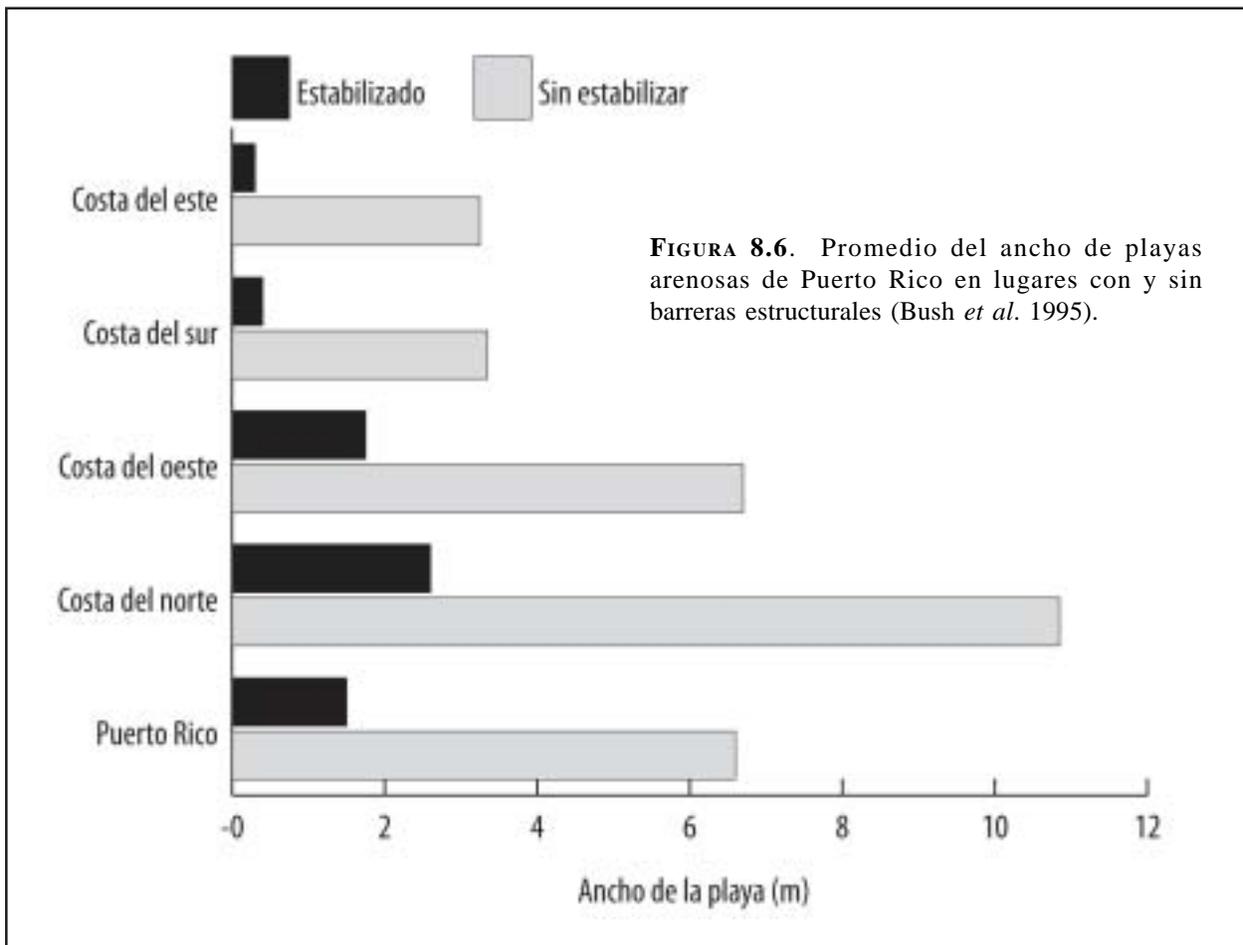
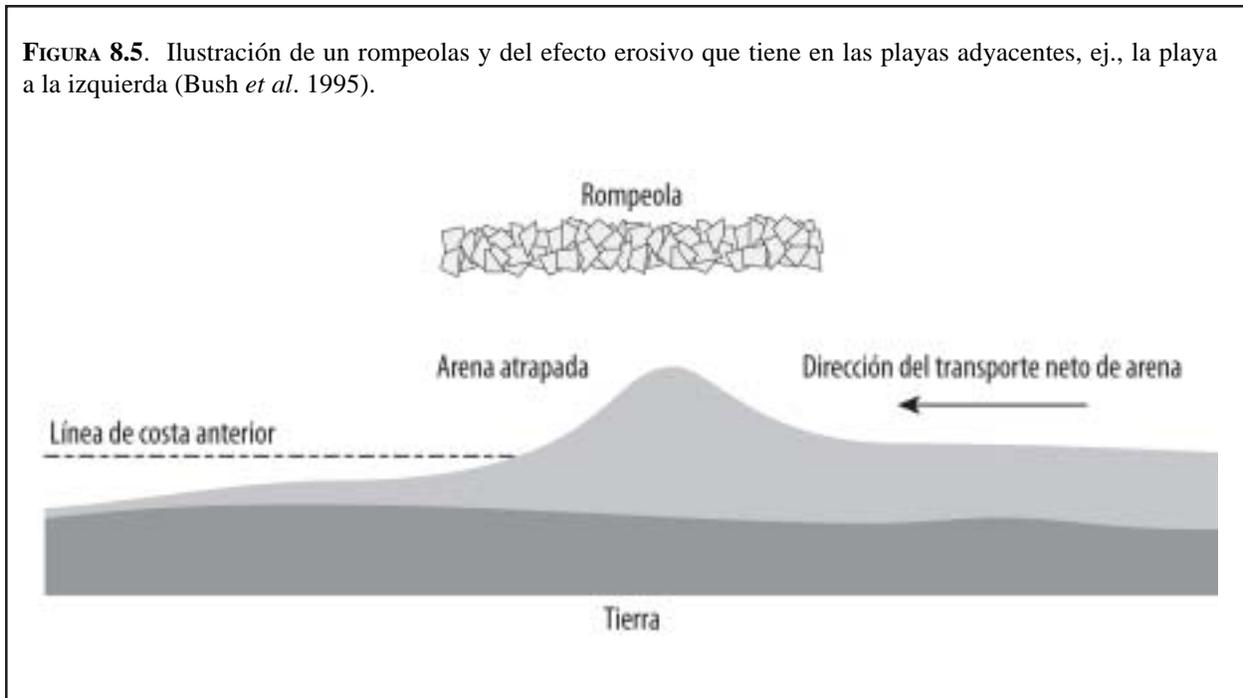


FIGURA 8.6. Promedio del ancho de playas arenosas de Puerto Rico en lugares con y sin barreras estructurales (Bush *et al.* 1995).

distancia de la orilla que solo infrecuentes olas de tormenta le lleguen y en donde la playa no está sufriendo erosión, no tiene porque causar daño a la playa al frente, algo que se ha documentado en muchos lugares. En este caso, el muro juega un papel puramente protector de la estructura cuando pasa una tormenta. Pero a la larga, debido al aumento en el nivel del mar, llegará el momento en donde se hará más frecuente la interacción entre el muro y las olas, y habrá que decidir entre las playas o las estructuras. A menos que se recurra a la re-alimentación de las playas. En lugares como El Condado o Punta Las Marías, debido a que las estructuras no se van a demoler, la única solución es la re-alimentación o armar la playa con estructuras sólidas. Las barreras estructurales frecuentemente ofrecen soluciones a corto plazo pero arruinan las playas y aceleran la erosión a largo plazo. Además su mantenimiento representa un costo recurrente, sin considerar los costos de los daños que son provocados en las playas adyacentes. Las obras de defensa son generalmente muy costosas, poco eficaces y tienen resultados imprevisibles.

¿Cuál es la experiencia en Puerto Rico?

La experiencia en Puerto Rico, debido a la erosión producida por efectos antropogénicos y naturales, ha sido que donde hay barreras estructurales se han perdido las playas, causando que la costa esté más vulnerable al impacto de los eventos naturales. A través de todo Puerto Rico, las playas con barreras estructurales son mucho más angostas que las playas naturales libres de barreras estructurales (Fig. 8.6). Los Recuadros 5 y 6 resumen casos específicos en Piñones e Isla Grande, respectivamente.

¿Cuál es el resultado de los asentamientos humanos en la zona marítimo-terrestre y las aguas territoriales?

Los asentamientos humanos en la zona marítimo-terrestre y las aguas territoriales, además de aumentar la erosión costera, han resultado en el aumento en el costo de los seguros de propiedad, han incrementado los riesgos a la vida humana

y han ocasionado cambios en la costa debido al desarrollo desmedido. Además se ha reducido el valor de la costa como elemento paisajista, una pérdida significativa en vista de la importancia del turismo para la economía ya que el paisaje es uno de los recursos más importantes para ese sector económico. Aunque es posible corregir algunos de los problemas que mencionamos, generalmente estos esfuerzos de mitigación han sido poco efectivos. Algunos ejemplos de los problemas ambientales que generan los asentamientos humanos en la zona marítimo-terrestre son:

- Obstaculización del acceso al mar: construcción y ocupación legal e ilegal de residencias, proyectos turísticos, industriales y comerciales que afectan el acceso físico y visual y proyectan sombra no deseada.
- Contaminación de las aguas: descargas de las aguas usadas, descargas industriales, fuentes dispersas, fuentes agrícolas, desperdicios sólidos.
- Reducción de los depósitos de arena y problemas de erosión debidos a la extracción legal e ilegal, y a la construcción de estructuras que entorpecen el movimiento de la arena.
- Destrucción y alteración de hábitats: desecación y relleno de manglares y humedales, eutrofización.
- Deforestación y sedimentación.

¿Qué es el relleno o alimentación artificial de una playa?

El relleno de una playa es cuando se deposita arena nueva en una playa con el fin de restaurar una playa erosionada (Fig. 8.7). Una playa no puede reconstituirse si no hay una alimentación que compense por la arena que el mar arrastra hacia fuera. Hay casos donde luego de una gran inversión financiera una tormenta ha erosionado toda la playa restaurada. Para evitar esta situación, se utiliza una combinación de relleno con estructuras sólidas que protegen en algo la inversión.

RECUADRO 5. Impacto de la presencia de barreras estructurales en Piñones.

La costa de Piñones es una costa de alta energía, expuesta a oleajes y marejadas que se originan en el Océano Atlántico. La costa se caracteriza por playas dinámicas y una hilera de dunas de arena estabilizadas por la vegetación de la región. Detrás de las dunas de arena está el manglar más extenso de Puerto Rico. Las dunas de arena eran lo suficientemente altas como para proteger el manglar de las marejadas e incursiones del mar. El agua salada le llega al manglar por debajo de las dunas de arena, el canal de Boca de Cangrejos, las inundaciones del estuario del río Grande de Loiza o a través del sistema de lagunas estuarinas del la Zona Metropolitana (estuario de la Bahía de San Juan). La región es un sistema costanero gigantesco que se extiende desde Loíza hasta la Bahía de San Juan con gran productividad ecológica y económicamente hablando.

En la década del 1950, el gobierno decidió ubicar el aeropuerto internacional detrás de la Playa de Isla Verde y al lado de la laguna Torrecillas que conecta con la laguna Piñones y la laguna San José. Como el lugar era un humedal estuarino, se tuvo que rellenar y se utilizó la arena de las dunas de arena que protegían el manglar de Piñones. El relleno consumió todas las dunas de arena del sector conocido como el terraplén.

En ausencia de la duna de arena, las marejadas que caracterizan esta costa penetraban sobre la playa, cruzaban la PR 187 y llegaban al manglar al sur de la carretera. Con la marejada entraba arena que poco a poco rellenó el manglar y evitó la entrada de la marea con el agua de sal. El manglar murió y el lugar fue colonizado por el pino australiano (*Casuarina equisetifolia*). La pérdida del manglar no llamó la atención ya que los pinos (cuando los majes lo permiten) son un lugar perfecto para pasadías por su sombra y el sonido del viento al chocar con las ramas de estos majestuosos árboles.

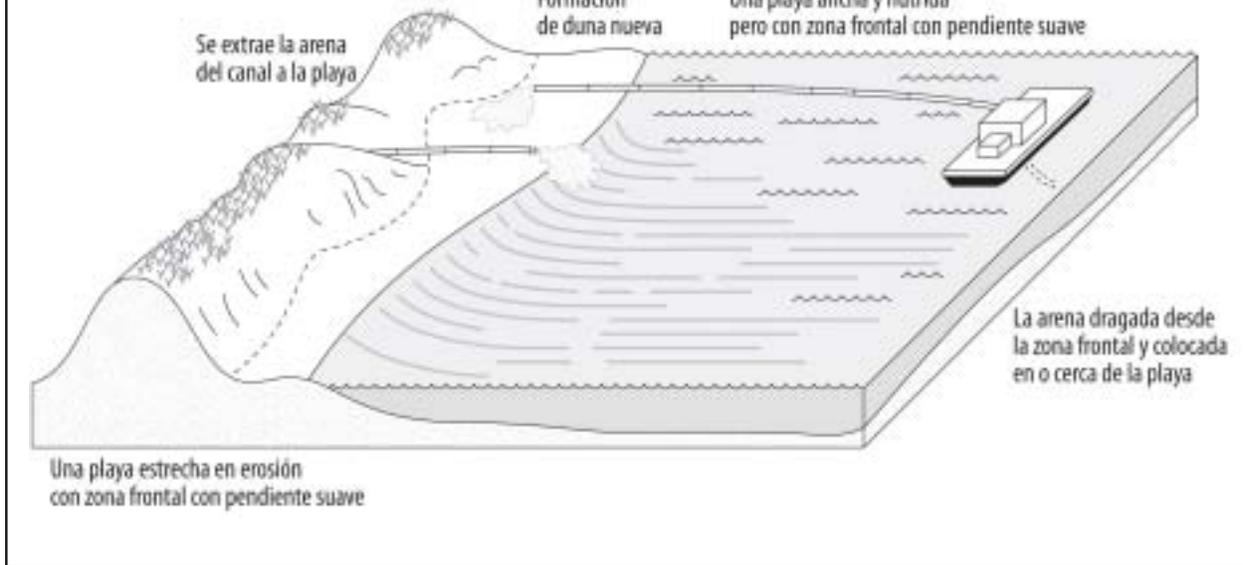
Lo que llamó la atención fue la interrupción del tráfico en la PR 187 cada vez que la marejada inundaba el lugar y lo colmaba de arena que había que remover y la aislación de las comunidades, a veces por semanas. Para evitar que el mar entrase más, se efectuaron las siguientes soluciones, cada una más cara que la anterior: se depositó chatarra, neveras, y estufas frente al mar. Se depositaron piedras y peñones. Luego se depositó arena para formar una duna de arena artificial. Finalmente se construyó una nueva carretera elevada con soluciones de ingeniería a costo millonario. Al presente las marejadas siguen pasando sobre la carretera y depositando arena sobre el pavimento. Los servicios gratuitos de las dunas de arena no han podido ser sustituidos a pesar de gastos millonarios y recurrentes.

RECUADRO 6. Impacto de la presencia de barreras estructurales en Isla Grande.

Las playas en toda la región de Isla Grande a Isla Verde le dieron fama a San Juan y eran visitadas por los sanjuaneros y turistas del patio y del extranjero. Estas playas eran tan atractivas que poco a poco se fue urbanizando la región y no se tomaron precauciones para armonizar las construcciones con los procesos que mantienen las playas en estados saludables geomorfológicamente hablando.

El resultado ha sido nefasto y, sorprendentemente por ocurrir paulatinamente ha pasado desapercibido por la mayoría de la población. Solo los que recuerdan cómo eran estas playas hace 50 años se dan cuenta de lo que se ha perdido. El acercamiento de estructuras al mar, la construcción de muros, diques y otras barreras estructurales para “resolver la situación” lo que han logrado es empeorarla. Cada día hay menos playa y en lugares no queda playa ya que los edificios están dentro del mar. Increíblemente, aún las autoridades gubernamentales contemplan autorizar construcciones dentro del agua. La recientemente inaugurada Puerta al Mar, no funciona como se diseñó pues el embate del mar contra la estructura obliga al gobierno prohibir el acceso al paseo frente al mar so peligro de que se pierdan vidas.

FIGURA 8.7. Técnica para reponer la arena en playas erosionadas (Bush *et al.* 1995). El éxito de estas soluciones es generalmente temporal y costoso a menos de que no se estabilice la playa y se protejan o restauren las fuentes de arena naturales para la playa.



¿Es efectivo rellenar una playa?

Rellenar una playa es efectivo a corto plazo. Pero la alimentación artificial no resuelve los problemas que ocasionan la erosión. Si la causa de la erosión no se elimina, la playa perderá la arena nuevamente y por eso en el diseño de un rellenamiento de playas hay que planificar para su mantenimiento. Algunas comunidades están sembrando vegetación en la costa para detener la erosión, lo cual ha resultado efectivo (Pilkey y Dixon 1996). El re-alimentar una playa no solo introduce un efectivo amortiguador del embate de las olas de tormenta, si no que le aumenta el precio de tasación a las estructuras frente a la nueva playa, y crea una playa más ancha para el disfrute de los ciudadanos. Un buen ejemplo es la playa de Miami Beach.

¿Qué es la relocalización de estructuras?

La relocalización de estructuras es cuando los edificios se mueven, alejándolos de la costa que se está erosionando. Esta opción, por razones obvias, es más costosa a corto plazo y conlleva la resistencia por parte de los dueños de propiedades frente a la playa. A largo plazo ésta es una solución efectiva pues aísla la infraestructura del embate del mar. Aunque esta opción es viable para estructuras relativamente livianas y pequeñas, no lo es para edificaciones de gran tamaño. Lo más práctico es derrumbarlas y construirlas nuevamente en lugares más apropiados. Tampoco es efectiva en lugares en donde no hay espacio ni para poder mover la estructura, ni para donde localizarla si es que se puede mover.

BENEFICIOS Y USOS DE LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE

¿Qué valores tienen los sistemas ecológicos de la zona marítimo-terrestre?

Los sistemas ecológicos de la zona marítimo-terrestre tienen valores estéticos, culturales, espirituales y económicos.

Históricamente la naturaleza ha sido inspiración de crecimiento espiritual y fuente de relajación para el ser humano. Como isla, el mar y la costa ha sido y sigue siendo parte de nuestro patrimonio cultural.

En términos económicos los ecosistemas naturales constituyen la fuente de ingreso de muchos ciudadanos. Los sistemas ecológicos de la zona marítimo-terrestre proveen servicios con valor económico gratuitamente a la sociedad en general ofreciendo, por ejemplo, protección contra marejadas, purificación del agua, agradables paisajes, atractivos para la ubicación de actividades económicas y otros.

¿Qué usos tiene la zona marítimo-terrestre y otros bienes de dominio público marítimo-terrestre?

Los usos de la zona marítimo-terrestre y otros bienes de dominio público marítimo-terrestre son muchos. Por mencionar algunos:

- Recreativos: ir a la playa con la familia y amistades y la práctica de deportes acuáticos (buceo, *windsurfing*, *surfing*, etc.).
- Económicos: fuente de la pesca y vital para el turismo de la isla.
- De tránsito: nos da acceso a los recursos naturales marítimo terrestres.
- Seguridad: es una estructura funcional que nos protege de fenómenos naturales (tormentas, huracanes y tsunamis, entre otros).
- Turismo: atraen al turista y su actividad económica.

- Estética o belleza. La costa es un elemento paisajista de gran calidad y valor.
- Otras actividades productivas como la pesca y los negocios ambulantes.

¿Cuál es la importancia de la zona marítimo-terrestre otros bienes de dominio público marítimo-terrestres y de las playas en general para el desarrollo sustentable de Puerto Rico?

La zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestre son vitales para la economía de Puerto Rico: el turismo y la recreación en Puerto Rico giran mayormente alrededor de nuestras playas y costas. Además, sus valores ecológicos, de protección, paisajísticos, histórico-culturales, etc. son elementos fundamentales para el **desarrollo sustentable**. De hecho, la Constitución de Puerto Rico, en su Art. VI, Secc. 19, dispone como política pública la “más eficaz conservación de los recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio general de la comunidad”. Igualmente, hay legislación como el Programa de Adopte una Playa, Ley Núm. 250 de 15 de agosto de 1999, que reconoce que las playas son una fuente económica, recreativa y educativa, por lo que deben protegerse para uso presente y futuro. Asimismo, la Ley Núm. 172 del 12 de agosto de 2000, sobre la implantación de un Programa para la Protección y Conservación de las Playas de Puerto Rico Aspirantes a Bandera Azul, establece y reconoce que las playas son uno de nuestros recursos naturales más importantes. (Tous 2005). Más aún, el valor estético se ha establecido como un recurso básico que amerita considerarse con el resto de los recursos naturales. En Puerto Rico los valores estéticos son de mayor importancia porque son parte del atractivo que vende la industria del turismo y atrae al turista. La belleza y diversidad de nuestras costas y paisajes es lo que hace a Puerto Rico diferente de otros

destinos turísticos del Caribe. La costa ofrece experiencias visuales y de contemplación y de apreciación directa mediante participación en actividades turísticas y deportivas.

¿Qué es el desarrollo sustentable?

La Organización de las Naciones Unidas (entiéndase así las Leyes Internacionales y sus Principios) definen el desarrollo sustentable como el desarrollo que cumple con las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de que generaciones futuras satisfagan sus propias necesidades. El desarrollo sustentable valoriza los recursos de manera integral para extraer el máximo partido a su potencial, con el fin de mejorar sus condiciones y lograr su mejor aprovechamiento respetando los derechos de las generaciones futuras. Además uno de los principios rectores del desarrollo sustentable es llevarlo a cabo en armonía y no en contra de las leyes naturales.

¿Qué usos tradicionales se le han dado a la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestre en Puerto Rico?

El uso tradicional más común es la pesca. Como isla disfrutamos del mar y las playas las cuales son lugares de recreo para un gran sector de la población. Las playas ofrecen lugares de recreo a bajo costo y han sido, hasta hace poco fácilmente accesibles. Las playas y la costa son lugares usados y apreciados por pescadores deportivos y comerciales. La pesca deportiva contribuye significativamente a la economía y al turismo. Los pescadores necesitan acceso a la zona marítimo-terrestre para poder trabajar/pescar. A través de todo Puerto Rico existen villas pesqueras en la zona marítimo-terrestre donde se ubican embarcaciones y áreas de almacén. La ley no prohíbe este uso de la zona marítimo-terrestre. Los negocios ambulantes también abundan en la zona marítimo-terrestre.

DISCUSIÓN

PROYECCIONES FUTURAS

¿Qué es el calentamiento global o efecto de invernadero?

El calentamiento global o efecto de invernadero ocurre cuando hay un aumento en la concentración atmosférica de bióxido (o dióxido) de carbono u otros gases de invernadero como el metano. Estos gases ocasionan que la superficie del planeta atrape calor de manera similar a lo que ocurre en un invernadero (Fig. 10.1). El aumento en la temperatura atmosférica causa que los glaciares y las capas polares se derritan aumentando el nivel del mar (Plikey y Dixon 1996). Las figuras en la página cibernética <http://geongrid.geo.arizona.edu/ascims/website/slr3omprvi/Run.htm> hay mapas que demuestran cómo Puerto Rico se ‘encogería’ si el nivel del mar aumentara un (1) metro y seis (6) metros, respectivamente.

¿Cómo afecta el cambio global a la zona marítimo-terrestre?

En la medida que el cambio global traiga consigo aumentos en el nivel del mar (Fig. 10.2) y cambios en la climatología y ocurrencia de tormentas, la localización (y posiblemente el ancho) de la zona marítimo-terrestre se verán impactados. Porciones de la zona marítimo-terrestre de hoy se convertirán a terrenos sumergidos y la zona marítimo-terrestre invadirá propiedades privadas.

¿Cómo afecta la variabilidad climática a la zona marítimo-terrestre?

El aumento en la cantidad de tormentas y huracanes incrementa el impacto de las marejadas ciclónicas sobre las costas, aumentando la erosión de las mismas. La frecuencia de las tormentas afecta la flora y fauna de la zona. Si éstas no tienen suficiente

tiempo para recuperarse no pueden ejercer su función como “fijadores” de arena. Esto a su vez, incrementa la magnitud de la erosión. Al erosionarse las costas, las estructuras existentes ubicadas en ellas se afectan, en ocasiones, irremediablemente. Muchos propietarios construyen estructuras legal o ilegalmente para proteger sus propiedades. Estas construcciones impactan negativamente la costa, afeándola y dañando la calidad del paisaje visual.

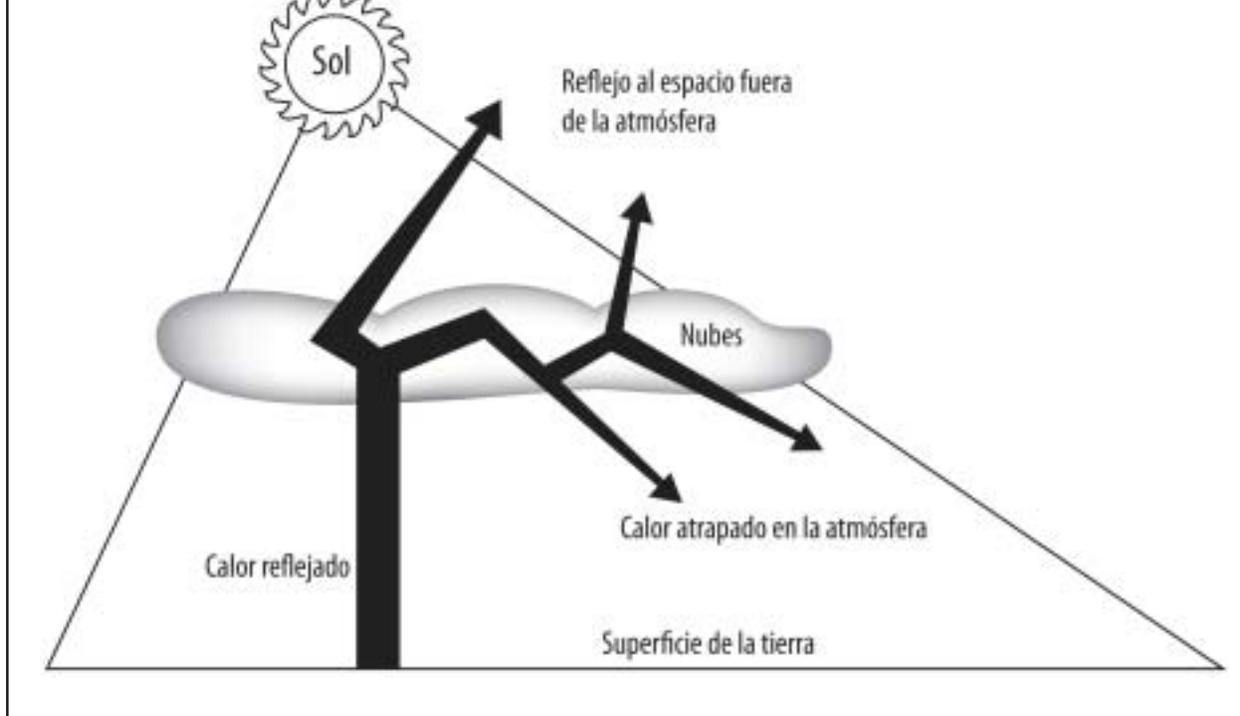
¿Cómo se proyecta de cara al futuro la ubicación de viviendas en la zona marítimo-terrestre?

En los últimos años se ha registrado un auge en el interés por comprar propiedades costeras. Partiendo de esta realidad y de que la población costera continúa creciendo, se podría esperar que la presión poblacional sobre la zona marítimo-terrestre se incrementará, al igual que los impactos antropogénicos sobre esta. Para reducir el impacto es vital que la definición de la zona marítimo-terrestre sea más específica y coherente con sus funciones naturales y que se eduque a los ciudadanos en torno a sus derechos y deberes. Que estén informados en cuanto a qué les pertenece. También resulta indispensable que las agencias cumplan con su deber ministerial de velar por el bien de este patrimonio. De igual forma es imprescindible que los constructores modifiquen sus estrategias de construcción para que estén en armonía con las características naturales y riesgos del lugar y se convenzan de que conservar la zona marítimo-terrestre y permitir que la naturaleza funcione efectivamente nos conviene a todos.

¿De quién es la responsabilidad de velar por la zona marítimo-terrestre?

A pesar de que le hemos delegado esta responsabilidad al gobierno, cada ciudadano es responsable de velar porque la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público

FIGURA 10.1. Efecto de invernadero (Allaby 1996). La energía del sol retorna como calor (flechas negras) al espacio, pero tanto el vapor de agua, las nubes como gases en la atmósfera como el dióxido de carbono (CO_2), el metano y otros absorben el calor y no dejan que escape al espacio. Como consecuencia, la atmósfera se calienta.



marítimo-terrestres se respeten, exigiéndole al gobierno que cumpla con su deber de manejar y proteger el dominio público según lo establecen las leyes.

¿Cómo puede un ciudadano ayudar a que se respete la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestre?

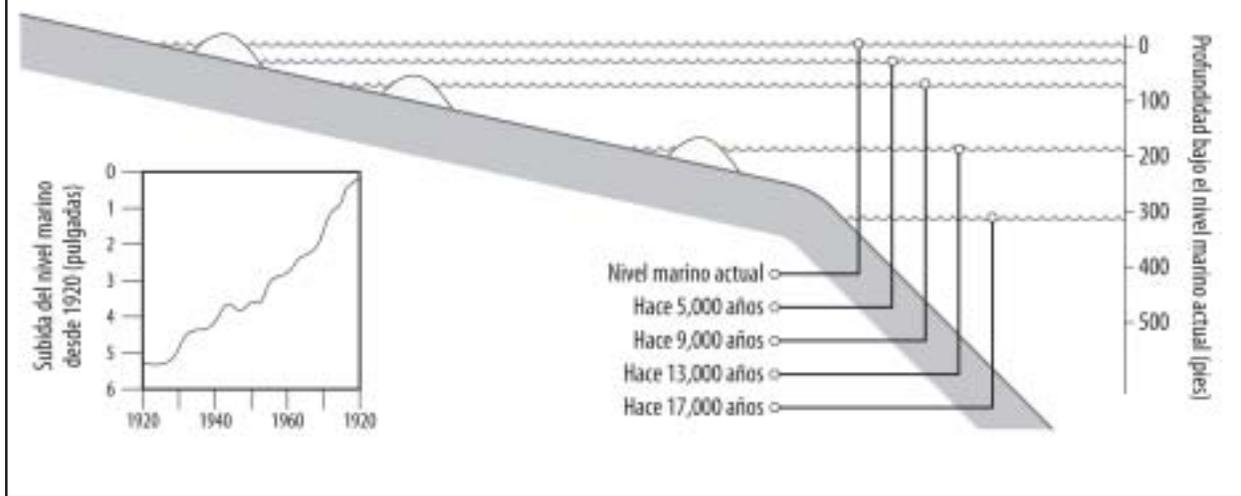
La mejor forma de que un ciudadano puede ayudar a que la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestres se respete es dejando oír su voz. Esto se puede lograr de varias maneras:

- Informar las violaciones de ley a las agencias pertinentes. Exigir que se lleve a cabo una investigación y obtener un número de querrela al reportar una infracción.
- Participar en seminarios y actividades que se ofrezcan con el fin de educar a los

ciudadanos sobre sus derechos y responsabilidades ambientales.

- Organizarse como comunidad y actuar como comunidad. En los últimos años diferentes esfuerzos comunitarios han sido efectivos.
- Tomar acción judicial cuando sea necesario. Hay organizaciones, como la Clínica de Asistencia Legal de la Escuela de Derecho de la Universidad de Puerto Rico, que ofrece asesoramiento y apoyo gratuito.
- Organizar y llevar a cabo acciones de activismo ambiental para complementar acciones judiciales. Este proceso pacífico, influye en la opinión de los gobernantes y en la opinión pública.
- Ser un buen ejemplo y respetar los reglamentos y leyes que protegen la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestre.

FIGURA 10.2. Aumento histórico del nivel del mar en el planeta (Pilkey y Dixon 1996). Una pulgada = 2.54 cm y un pie = 0.3048 metros.



- Cuando sea necesario, utilizar el procedimiento del *mandamus*.

¿Qué es un mandamus?

El *mandamus* es un recurso legal que se utiliza para obligar a las agencias del gobierno cumplir con su deber o cumplir con la ley.

¿Hay manera de manipular la naturaleza para agrandar las costas y las playas?

En el mercado hay productos que plantean que pueden hacer crecer una playa mediante un proceso de atrapar arena en unas mallas y redes que se sitúan en el agua. Pero si la arena atrapada proviene del transporte litoral, entonces la arena que sea atrapada en algún lugar afectará el presupuesto de arena corriente abajo.

¿La solución sería no construir más?

No, la solución es que las construcciones y desarrollos sean compatibles con el funcionamiento de todos los bienes de dominio público marítimo-terrestre. Esto significa:

- Construir tierra adentro de la zona marítimo-terrestre.

- Obtener todos los permisos necesarios antes de iniciar la construcción.
- Que las agencias de gobierno estén más pendientes y le den el seguimiento necesario a las obras de desarrollo para asegurar que estén en cumplimiento de los permisos.
- Diseñar proyectos cuyo impacto ambiental sea mínimo (lo más sustentables posible). Por ejemplo, diseñar áreas de recreación pasiva entre las estructuras y la orilla.
- Diseñar proyectos que trabajen con la naturaleza, no en contra de ella.
- Que las agencias tengan como objetivo final el que su manejo sea hacer compatible el desarrollo con todos los recursos y se dé particular consideración a los efectos cumulativos o globales, irreversibles y a largo plazo.
- Dejar espacio entre la costa y las edificaciones (*setback line*) algo que se ha recomendado en muchos lugares del Caribe y se ha implantado en algunos. Evitar la congestión y hacinamiento e incrementar la accesibilidad, conservando o recuperando la calidad visual del paisaje. Muchos países han decidido tener una carretera o servidumbre de salvamento entre la costa/playa y las edificaciones. Estas servidumbres ofrecen protección y aseguran el acceso público y gratuito al mar.

¿Por qué es tan problemático construir en la costa?

La costa es un área dinámica en constante movimiento y cambio de forma. Al colocar obstáculos en ella (tales como casas, edificios, carreteras, rompeolas o gaviones) se interrumpe ese movimiento y dinamismo natural. Esto hace que la costa se estreche y que el flujo de arena a otras playas disminuya, causando que las playas adyacentes también se estrechen. La costa es una región donde normalmente se disipan enormes cantidades de energía. Algunos procesos que consideramos dañinos, como la erosión, son parte de la dinámica que disipa esas energías. Aunque estos procesos antes alcanzaban equilibrios prolongados, las alteraciones a los aportes de arena y destrucción de reservas de arena en forma de dunas de arena han debilitado la costa y ahora se favorecen los procesos erosionales y la regresión de la línea de costa. El calentamiento global a su vez representa mayor energía disponible para la formación de tormentas, oleajes destructivos e inundación por el mar. Los riesgos naturales en la costa son derivados de procesos no solamente marinos sino fluviales también provocados por la destrucción de la vegetación natural y desarrollos en las cuencas.

¿Cuál debe ser la actitud hacia las playas, la costa, la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestre?

Es necesario reconocer la importancia económica y geomorfológica de las playas y la costa y planificar el desarrollo sustentable de éstas. Tenemos que considerar que la playa es más que la zona del vaivén de las olas. En realidad, la playa es tan solo una porción de la zona marítimo-terrestre. Las playas son sistemas geomorfológicos de gran valor y deben administrarse como tal para proteger sus funciones. Pero urge reconocer que la unidad funcional o geomorfológica es la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestres definidos en base a su comportamiento a largo plazo y a escala de paisaje. La costa, tal como definida por el DRNA (2005) correctamente define el límite el dominio

terrestre y marino e implícitamente la reconoce como una unidad geomórfica al considerarla como “el límite entre la tierra y el mar que está continuamente en transformación por la acción de las corrientes marinas, las mareas, el oleaje, la abrasión y las fluctuaciones del nivel del mar” (DRNA 2005). Pero paradójicamente no se considera esta unidad como zona marítimo-terrestre, al aplicarse en la Isla, en su sentido más estricto, leyes medievales y de origen aún más antiguo fuera de su contexto geográfico original. Aunque estas leyes eran válidas para las costas españolas en su época ahora están fuera de época y en nuestra región, fuera de contexto. Es decir, esta ley requiere actualizarse a base del conocimiento científico moderno y debe contextualizarse a la realidad de los procesos costeros de nuestra región geográfica. A corto plazo se puede armonizar esta ley con la realidad física mediante una interpretación de la zona marítimo-terrestre coherente con nuestros procesos naturales.

Una interpretación funcional de la zona marítimo-terrestre, a base de criterios modernos, sugiere que dicha zona debe estar definida en su límite superior por la línea de máximo alcance del oleaje en periodos de huracanes y pleamar viva (la zona donde deja de producirse movimientos de sedimentos durante las mayores tormentas por el viento o por el remonte). El indicador de este punto es la cresta del primer cordón de dunas de arena y se extiende a lo largo de la cresta de la duna de arena. El límite inferior (hacia el mar, que incluye otros bienes de dominio público marítimo terrestre) debe estar definido por el punto donde las olas dejan de poner en movimiento el material no consolidado del fondo y que corresponde a una profundidad entre 20 y 30 m, que se conoce como la profundidad de cierre de la ola. Un indicador del límite superior (hacia tierra) es la presencia de vegetación terrestre permanente (borde del matorral marítimo o la parte más alta del cordón de dunas de arena. Por detrás de la cresta se requiere una zona de protección adicional (de 20 a 25 metros) que corresponde a la distancia que ofrezca una pendiente menor del ángulo de reposo de la arena (32°) para que no se colapse la cresta. Esta definición funcional considera

los procesos geomórficos más importantes que fijan el límite entre el dominio marino y el terrestre. La parte delante de la cresta de la duna de arena se debe considerar como un reservorio de arena que varía en respuesta a tormentas de baja recurrencia pero de gran intensidad, cuyo tamaño mantiene la resiliencia de la estructura. La escala de tiempo en consideración es intermedia entre una de diseño de ingeniería (100 años) y una escala geológica (sobre 1,000 años). Es decir, la planificación debe considerar acciones que favorezcan una estabilidad de la línea de costa a lo largo de un plazo de 200 a 500 años. Las grandes murallas de San Juan se construyeron hace 500 años y todavía están en pie, monumentos al sentido común empleado en su diseño. Es hora de construir nuestra nueva muralla utilizando los sistemas naturales, rehabilitándolos donde sea posible y planificando para proteger las funciones de la costa adecuadamente.

Una vez se reconozca la importancia económica y social de la zona marítimo-terrestre y los otros bienes de dominio público marítimo-terrestre como unidad funcional y de las playas como componente de la zona marítimo-terrestre, se debe asignar un presupuesto adecuado para el manejo de estas atracciones y recursos naturales. Esto evita el desfase actual en lo relacionado a los ingresos generados por éstos y a la inversión que se hace para su manejo, conservación y restauración. La aportación de todos los bienes de dominio público marítimo-terrestre debe ser reconocida tanto en el aspecto social como en el económico. Debemos estudiar métodos y oportunidades para eliminar la práctica de sectores sin escrúpulos para apoderarse de bienes públicos o para explotarlos para extraer ganancias a corto plazo sin consideración a los derechos de las generaciones futuras de disfrutar los beneficios que rinden estos sistemas a la sociedad y al país.

OPINIÓN

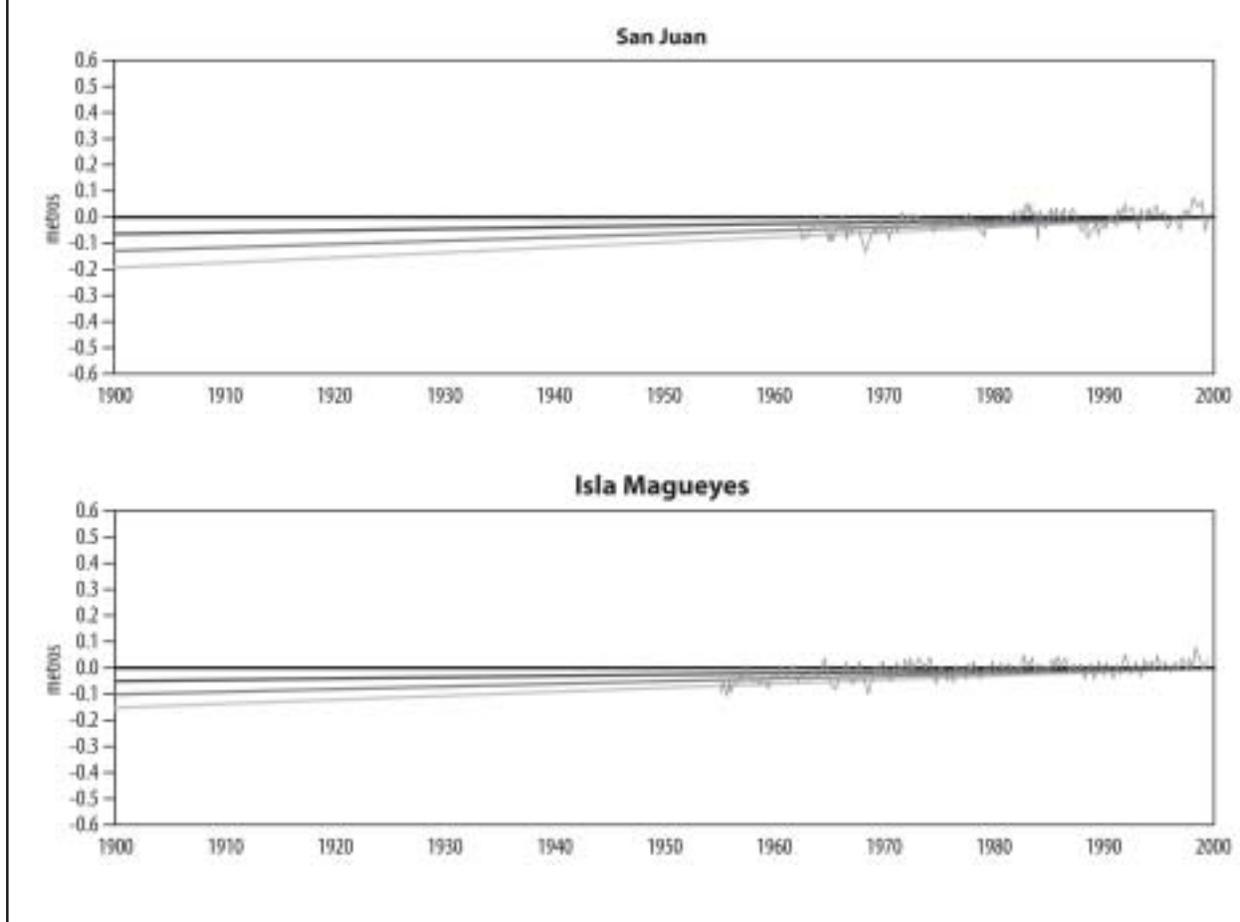
¿Cuál es la realidad de la zona marítimo-terrestre y otros bienes de dominio público marítimo terrestres en Puerto Rico?

Los datos e información en esta Cartilla establecen que la zona marítimo-terrestre es un sistema dinámico; continuamente en un estado de cambio y en ajuste a las condiciones imperantes. Por ejemplo, el nivel del mar no es estático y cambia (Fig. 5.26) en ciclos que varían desde horas a los 19 años del ciclo Metódico. Más aún, debido a los cambios globales el nivel del mar se encuentra en una trayectoria ascendente hacia el futuro tanto globalmente (Fig. 10.2) como alrededor de Puerto Rico (Fig. 10.3). De hecho, la trayectoria ascendente aplica no sólo al nivel del mar sino también a la frecuencia e intensidad de los huracanes. Mientras tanto, los planes y acciones diarias del gobierno en Puerto Rico no aparentan tomar en consideración los conocimientos técnicos disponibles para delimitar y manejar la zona marítimo-terrestre. No hay duda de que las tendencias naturales en la zona marítimo-terrestre se dirigen inexorablemente a una colisión entre la forma en la que el puertorriqueño usa y se relaciona con ella. Ante la posibilidad de que ocurra tal choque entre el mar y la infraestructura del país tampoco hay duda de quien gana; siempre gana el mar. Tenemos que reconocer que el mar es el dueño de la zona marítimo-terrestre y posee su escritura. Por lo tanto, le corresponde a esta generación corregir su relación con la zona marítimo-terrestre.

¿Qué papel juega la Ley de Puertos del 1886 en la realidad de la zona marítimo-terrestre de Puerto Rico?

La Ley de Puertos de 1886, a pesar de su insuficiencia y desfase con la época, de aplicarse correctamente, nos protege contra los cambios globales anticipados para el futuro en la zona marítimo-terrestre. Pero ello requiere una reinterpretación de los criterios usados para demarcar la zona marítimo-terrestre que sea más apropiada al contexto local. Esta reinterpretación moderna puede ser congruente con la Ley. Aunque esa ley se escribió hace más de 100 años para resolver problemas de tráfico marítimo, hoy nos cobija de los cambios globales en el nivel del mar. La definición de la zona marítimo-terrestre y las servidumbres que se

FIGURA 10.3. Aumento histórico del nivel del mar en San Juan e Isla Magueyes en Lajas, Puerto Rico (NOAA).



establecieron en esa ley, funcionan perfectamente para acomodar los posibles embates del mar a medida que continúe subiendo su nivel. Lo que necesitamos es más orden en la implementación de la ley y en ese proceso es necesario clarificar los problemas identificados en esta Cartilla con la definición y delimitación de la zona marítimo-terrestre (Recuadro 7).

¿Cómo interpretamos la definición de la zona marítimo-terrestre?

La definición de la zona marítimo-terrestre incluye dos situaciones contrastantes:

- 1 Donde hay oleaje, la zona marítimo-terrestre se define por las olas más altas de los

huracanes más intensos que puedan afectar a Puerto Rico. Esas olas impactan lugares tierra adentro relativo a las mareas más altas. No tiene ningún sentido la actitud del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de ignorar los oleajes al delimitar la zona marítimo-terrestre. Ignorar las olas producidas por los huracanes al delimitar la zona marítimo-terrestre le hace daño a Puerto Rico y a las personas que de buena fe asumen que el gobierno hace su trabajo correctamente. Al ignorar los oleajes se permiten construcciones en zonas vulnerables a daños por el mar, se aseguran catástrofes futuras y la desaparición de las playas de arena. Uno de los datos más reveladores en esta Cartilla es la magnitud

RECUADRO 7. Punto y contrapunto sobre la confusión en la delimitación de la zona marítimo-terrestre.

Punto: El concepto ha sido adaptado de España sin saber qué era exactamente lo que los españoles tenían en mente.

Contrapunto: La intención de los españoles ya no es relevante al argumento pues las condiciones de la costa han cambiado. Lo importante es el contenido de la definición.

Punto: Hay controversia en lo que significa mareas sensibles o no sensibles. El uso del término proviene de la tradición española de denominar “no sensible” a mareas de poca amplitud (micro-mareas) como las de su costa mediterránea (y las de Puerto Rico).

Contrapunto: Las mareas son sensibles (se pueden medir) en toda la costa de Puerto Rico. Se debe estipular que donde las mareas se pueden medir son sensibles por definición y entender que los oleajes sobrepasan las mareas en las costa de Puerto Rico. Por lo tanto, en Puerto Rico, donde ocurren oleajes las olas determinan la ubicación de la zona marítimo-terrestre. La marea determina la zona marítimo-terrestre en lugares donde no hay oleajes.

Punto: No se especifica en ningún lugar por dónde pasa el temporal que se menciona en la definición, ni tampoco se define la intensidad de ese temporal.

Contrapunto: Cuando se formuló la Ley de Puertos, los temporales no se clasificaban por intensidad ni se conocía su trayectoria por antelación. Tampoco se utilizaba el término huracán. Al mencionar “las mayores olas en los temporales” la definición de la zona marítimo-terrestre incluye las olas durante huracanes de máxima intensidad que son los que producen los mayores oleajes.

Punto: Pero la definición de playa incluye “temporales ordinarios.”

Contrapunto: Correcto, pero la playa no es la zona marítimo-terrestre; el concepto de la zona marítimo-terrestre es más amplio que la playa. Al utilizar temporales ordinarios en la definición de playa, la ley española reducía la amplitud de la playa a los temporales ordinarios y ampliaba la definición de la zona marítimo-terrestre a “las mayores olas durante temporales”, implicando que no hay limitación en la intensidad del temporal al definir la zona marítimo-terrestre.

Punto: No está claro si la distancia que corren los oleajes se suma a la marea o si la zona marítimo-terrestre se delimita solamente por la marea. Entonces, si sólo la marea delimita la zona marítimo-terrestre, no está claro qué papel desempeña el oleaje en la definición.

Contrapunto: Como las mareas se pueden medir en toda la costa, es obvio que los oleajes se suman a la marea donde ocurren ambos ya que éstos llegan a lugares donde la marea no llega (Tous 2005). En la Figura 1.4 se ve claramente que el criterio de marea se utiliza exclusivamente en lugares sin oleaje como en los manglares que crecen a lo largo de ríos o detrás de las dunas de arena. Pero en las costas de alta energía, el oleaje llega a lugares donde no llegan las mareas y entonces hay que sumarle esa distancia a la distancia que penetra la marea.

Punto: el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) no ha sido transparente es su metodología para delimitar la zona marítimo-terrestre.

Contrapunto: Para este punto no hay contrapunto pues es cierto. La delimitación de la zona marítimo-terrestre por el DRNA aparenta ser arbitraria y generalmente equivocada y la justificación no se hace pública.

de la energía que disipan sobre la costa las olas de entre 1 y 5 metros (Recuadro 1). Tal embate del mar asegura la destrucción de cualquier estructura que se exponga a estas fuerzas avasalladoras.

- 2 Donde no hay oleaje, la zona marítimo-terrestre se define por la presencia de la marea. Esta situación cubre los estuarios, los ríos, los manglares y otros humedales mareales. En todos estos ejemplos, la zona marítimo-terrestre está protegida del mar por barras o dunas de arena u otros obstáculos y no recibe el embate directo de las olas. Los acantilados representan un caso especial ya que la zona marítimo-terrestre los corona donde no llegan ni las olas o las mareas.

¿Cuál sería una definición más completa de la zona marítimo-terrestre?

Proponemos la siguiente definición de la zona marítimo-terrestre, la cual se ajusta a los conocimientos y capacidades disponibles en este momento e ilustramos en la contraportada y la Figura 10.4.

Zona marítimo-terrestre: El espacio entre las costas y las fronteras marítimas de la Isla de Puerto Rico y sus islas y cayos adyacentes que forman parte del territorio del Estado Libre Asociado de Puerto Rico; comprendido entre la línea de bajamar escorada en su límite inferior hasta donde alcanzan las **olas de alta peligrosidad**; disponiéndose expresamente que esta zona nunca será menor de cincuenta metros a partir de la línea de pleamar en la máxima viva equinoccial, e incluirá hasta donde se mide la influencia del mar tierra adentro.

Donde la costa conforme un acantilado u otra superficie vertical considerablemente más elevada que el alcance de la ola, la zona comenzará a partir de la coronación de esta superficie vertical y se extenderá como una proyección horizontal por cincuenta (50) metros hacia el interior.

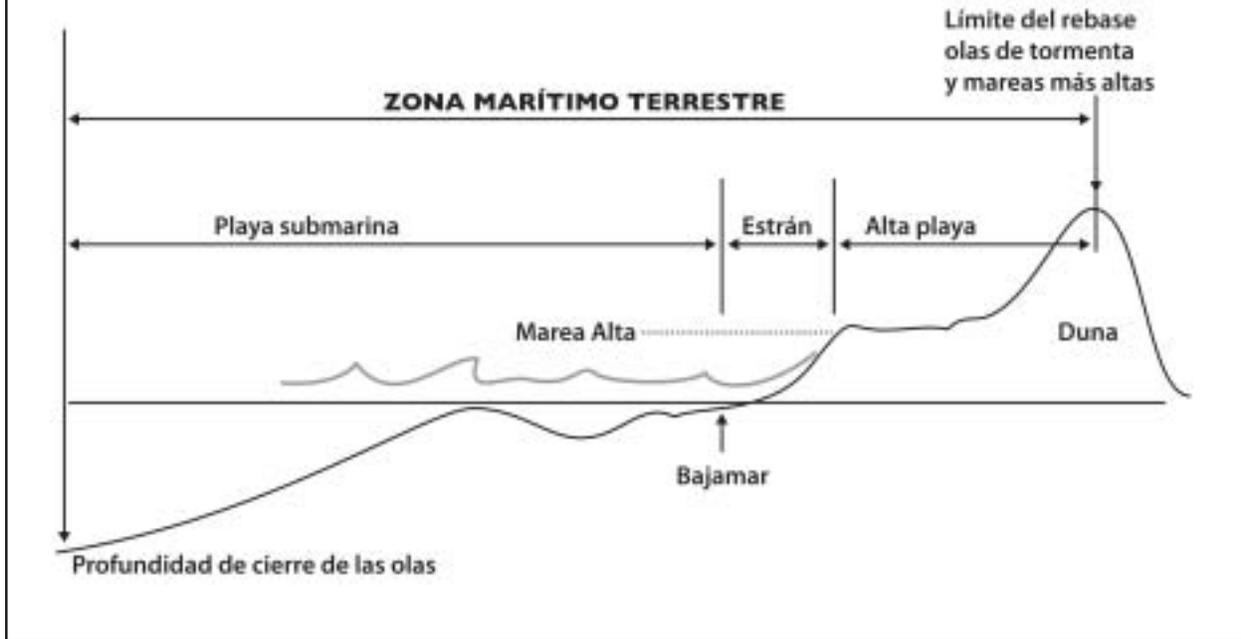
Esta zona marítimo-terrestre se extiende también por los márgenes de los ríos, sus tributarios y cualquier otro cuerpo de agua hasta el sitio en que sean navegables o se puedan medir los cambios en las mareas.

¿Qué lugares se consideran incluidos bajo esta definición de la zona marítimo-terrestre?

Se consideran incluidos en la zona marítimo-terrestre:

- 1) Los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua del mar.
- 2) Las zonas de depósito de materiales sueltos, tales como arenas, gravas y guijarros, incluyendo escarpes, bermas y dunas de arena consolidadas o no consolidadas, tengan o no vegetación, formados por la acción del mar o viento marino u otras causas naturales.
- 3) Los terrenos sumergidos bajo los ríos, hasta donde se pueda medir la influencia del mar.
- 4) Todo cuerpo de agua interior donde se pueda medir la influencia del mar.
- 5) Manglares, lagunas, salitrales y cualquier otro humedal mareal costero.
- 6) Las accesiones a la ribera del mar por depósito de materiales o por retirada del mar, cualesquiera que sean las causas.
- 7) Los terrenos ganados al mar como consecuencia directa o indirecta de obras y los desecados en su ribera.
- 8) Los terrenos invadidos por el mar que pasen a formar parte de su lecho por cualquier causa.
- 9) Los terrenos deslindados como dominio público que por cualquier causa han perdido sus características naturales de playa, acantilados o zona marítimo-terrestre.
- 10) Los terrenos colindantes que se adquieren por compra, cesión, expropiación o disposición y se incorporan al dominio público marítimo-terrestre.

FIGURA 10.4. Perfil de una costa de alta energía ilustrando la delimitación terrestre de la zona marítimo-terrestre a base de las mareas y la penetración de las olas donde las mareas no son sensibles y utilizando la profundidad de cierre de olas para delimitar la extensión marítima de la zona.



- 11) Los recursos naturales que se encuentran en, sobre o bajo los bienes de dominio público marítimo-terrestre.
- 12) Los islotes y cayos ya formados o que se formen por causas naturales o artificiales en las aguas territoriales o en aguas interiores o en los ríos donde se pueda medir la influencia del mar.

¿Qué se consideran olas de alta peligrosidad?

Se consideran olas de alta peligrosidad las olas de hasta tres pies (un metro) de altura que se propagan por encima de la marejada ciclónica durante el huracán de cien (100) años de recurrencia que produzca la máxima inundación en cualquier lugar en específico.

¿Y en el caso de los tsunamis y huracanes de alta intensidad?

No debemos olvidar que ocurrirán eventos más intensos a los de 100 años y que a éstos hay que

sumarles la posibilidad de un tsunami que puede penetrar tierra adentro aún más que los huracanes más intenso. Las agencias del gobierno deben tomar precauciones adicionales a la delimitación de la zona marítimo-terrestre al considerar propuestas de construcción en áreas donde llegan las olas de los huracanes categoría 4 y 5 (Tabla 4.1) y de los tsunamis. Consulte <http://poseidon.uprm.edu> y <http://coastalhazards.uprm.edu> para ver los mapas que ilustran la penetración de un tsunami en todas las costas de Puerto Rico.

La definición de la zona marítimo-terrestre que ha sido propuesta en este documento no incluye la penetración tierra adentro de un tsunami ni las olas y marejadas de huracanes de alta intensidad que ocurren con frecuencias menores a los 100 años (o sea cada 500 o 1000 años). Esta omisión es importante pues la propuesta ignora los eventos más extremos a los cuales la isla sin duda se enfrentará con más frecuencia según se intensifique el calentamiento global que estamos sufriendo.

Hay dos razones para justificar esta posición. Primero, la recomendación mejora la práctica actual de ignorar los oleajes al definir la zona marítimo-terrestre. Al considerar los oleajes inmediatamente se mejora la delimitación de la zona marítimo-terrestre y se asegura que la vida y propiedad estén salvaguardadas contra eventos que ocurren en promedio una vez cada cien años. Segundo, los modelos de computadora y procedimientos para establecer los niveles de eventos huracanados, así como los reglamentos federales y estatales están enfocados en el evento de los 100 años, lo que armoniza la delimitación de la zona marítimo-terrestre con la magnitud del evento utilizado por las autoridades gubernamentales para regular la construcción y los seguros de inundación.

¿Qué paso debe seguir esta Cartilla?

Proponemos que se revise la Ley de Puertos existente para poner al día, no solamente el concepto de esa Ley, sino su interpretación con referencia a la delimitación de la zona marítimo-terrestre a la luz de la información que ahora conocemos sobre la dinámica del mar que nos rodea y de la capacidad existente para simular eventos extremos, junto con la disponibilidad de datos topográficos y batimétricos de alta resolución y precisión. Tal revisión debe tomar en cuenta el conocimiento técnico disponible para evitar que a medida que suba el nivel del mar y se incremente la frecuencia e intensidad de los huracanes que nos azotan, no se pierdan vidas ni propiedades en Puerto Rico ni se haga perder la resiliencia de los sistemas que ahora confieren estabilidad a la costa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó como parte del esfuerzo de un grupo de ciudadanos interesados en promover la conservación de los bienes de dominio público marítimo-terrestres y la seguridad de los puertorriqueños. Agradecemos la colaboración de las siguientes personas: Tania del Mar López, Mildred Alayón, Olga Ramos, Edward Camacho, Gisel Reyes, Manuel Navedo Avilés, Sebastián Martinuzzi, Susan Soltero, Julie Hernández, Jorge Morales y

Michael Jiménez. Agradecemos a las siguientes personas la revisión del manuscrito: Frank H. Wadsworth, Migdalia Molina, Michelle Scharerpara, Rojeanne Selles y Manuel Valdez Pizzini. El trabajo se llevó a cabo en colaboración con la Universidad de Puerto Rico.

BIBLIOGRAFÍA

- Allaby, M. 1996. *The concise Oxford dictionary of ecology*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Art, H.W. 1993. *The dictionary of ecology and environmental science*. Henry Holt and Company, NY., 632 p.
- Birnie, P.W. y A.E. Boyle. 2002. *International law and the environment*. Oxford University Press, Oxford, UK. 798 p.
- Bush, D.M., R.M. Webb, J.G. Liboy, L. Hyman, y W.J. Neal. 1995. *Living with the Puerto Rico shore*. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, San Juan. 193 p.
- Cerame Vivas, M.J. Jr., editor. 1988. *Atlas costero de Puerto Rico*. Art Printing Inc., San Juan, PR.
- Cerame Vivas, M.J. Jr. 2000. *Ecología, Puerto Rico y pensamiento crítico*. Editoria Centenario, S.A., Río Piedras, PR.
- Cintrón, G. 1988. *Ecología del manglar*. Compendio enciclopédico de los recursos naturales de Puerto Rico. Tomo I: Vol. II. José Vivaldi, editor. Departamento de Recursos Naturales. Editorial Librotex, Inc. San Juan, Puerto Rico.
- Clark, J.O.E. y S. Stiegeller. 2000. *The facts on file dictionary of earth science*. Checkmark Books, New York, NY.
- Código Civil de Puerto Rico. 1930. Según enmendado, 31 LPRA.
- Davis, R.A., editor. 1985. *Coastal sedimentary environments*, 2nd expanded edition. Springer-Verlag, New York, NY.
- Dawes, C.J., E.E. McCoy, y K.L.H. Jr. 1991. *The tropical western Atlantic including the Caribbean Sea*. Páginas 215-233 *en* A.C. Mathieson and P.H. Nienhuis, editores. *Intertidal and littoral ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- DRNA. 1968. Ley para reglamentar la extracción de corteza terrestre. Ley 132 del 25 de junio, según enmendada.
- DRNA. 1992. Reglamento para el aprovechamiento, vigilancia, conservación y administración de las aguas

- territoriales, los terrenos sumergidos bajo éstas y la zona marítimo-terrestre. 29 de enero. Expediente Número 4860.
- DRNA. 2004. Praderas de *Thalassia*. Folleto informativo del Programa de Arrecifes de Coral. Tarea CRI-4.
- DRNA. 2005. Manual de procedimientos para el deslinde del límite interior tierra adentro de los bienes de dominio público marítimo-terrestre.
- Drake, C.L., J. Imbrie, J.A. Knauss, y K.K. Turekian. 1978. *Oceanography*. Holt, Rinehart and Winston, New York, NY.
- Evans, F.C. 1956. Ecosystem as the basic unit in ecology. *Science* 123:1127-1128.
- Feliciano, D.L. 2005. Memorando sobre la zona marítimo-terrestre. Documento de trabajo.
- Fox, J.R. 1997. Dictionary of international and comparative law. Oceana Publications, New York, 369 p.
- García Ríos, C.I. 2005. Playas de arena. Páginas 359-393 en R.L. Joglar, editor. Biodiversidad de Puerto Rico. Vertebrados terrestres y ecosistemas. Editorial del Instituto de Cultura Puertorriqueña, San Juan, PR.
- Goenaga, C. y G. Cintrón. 1979. Inventory of the Puerto Rico coral reefs. Report submitted to the Coastal Zone Management Program of the Department of Natural Resources, San Juan, 190 p.
- González, G. 1975. Informes de progreso de tareas del Programa de Manejo de Zona Costanera (borradores) Tarea I: Zona marítimo-terrestre; Tarea III: la zona marítimo-terrestre y las concesiones de la Corona; Tarea IV: Acceso a las playas. San Juan, Puerto Rico: Programa de Manejo de Zona Costanera de Puerto Rico.
- Hancock, P.L. y B.J. Skinner, editores. 2000. The Oxford companion to the earth. Oxford University Press, Oxford, England.
- Hernández Delgado, E.A. 2005. Arrecifes de coral. Páginas 281-357 en Joglar, R.L., editor. Biodiversidad de Puerto Rico: Vertebrados terrestres y ecosistemas. Editorial del Instituto de Cultura Puertorriqueña, San Juan, PR, 563 p.
- Gleason, H.A. y M.T. Cook. 1926. Plant ecology of Porto Rico. Páginas 1-173 en Volumen 7 del Scientific Survey of Porto Rico and the Virgin Islands. New York Academy of Sciences, New York, NY.
- IUCN. 2006. The red list of threatened species. <http://www.redlist.org/> Accesado el 7 de abril de 2006.
- Junta de Planificación. 1983. Según enmendada. Reglamento sobre zonificación de la zona costanera y de accesos a playas y costas. Reglamento de Planificación Número 17, 31 de marzo. Expediente Número 3424.
- Junta de Planificación. 2000. Reglamento de planificación número 4.
- Junta de Planificación. 2002. Reglamento sobre zonas susceptibles a inundaciones. Reglamento de planificación número 13 quinta versión, 5 de septiembre. Expediente Número 6516.
- Junta de Planificación. 2005. Reglamento sobre áreas especiales de riesgo a inundación. Reglamento de planificación número 13 sexta versión, 31 de diciembre. Expediente Número 7092.
- Komar, P.D. 1976. Beach processes and sedimentation. Prentice-Hall, New York, NY.
- La Luz Feliciano, D. 2005. Memorando legal sobre el Proyecto de Ley de la zona marítimo-terrestre. Documento de Trabajo.
- López Marrero, T.d.M. y N. Villanueva Colón. 2006. Atlas ambiental de Puerto Rico. Editorial Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PR. 160 p.
- López Feliciano, D. 1999. El ambiente y las leyes en Puerto Rico. Lo que todos queremos saber.
- Lugo, A.E. 1990. Introduction. Páginas 1-14 en A.E. Lugo, M.M. Brinson y S. Brown, editores. Ecosystems of the world Vol. 15: Forested wetlands. Elsevier, Amsterdam.
- Lugo, A.E. y A. García Martinó. 1996. Cartilla del agua para Puerto Rico. Acta Científica 10:1-89.
- Lugo, A.E., C.S. Rogers, y S.W. Nixon. 2000. Hurricanes, coral reefs and rainforests: resistance, ruin, and recovery in the Caribbean. *Ambio* 29:106-114.
- Lugo, A.E., L. Miranda Castro, A. Vale, T.d.M. López, E. Hernández Prieto, A. García Martinó, A.R. Puente Rolón, A.G. Tossas, D.A. McFarlane, T. Miller, A. Rodríguez, J. Lundberg, J. Thomlinson, J. Colón, J.H. Schellekens, O. Ramos, y E. Helmer. 2001. Puerto Rican karst - A vital resource. USDA Forest Service, General Technical Report WO-65, Washington, DC.
- Martínez, R. 1988. Las playas y dunas de Puerto Rico. Compendio Enciclopédico de los Recursos Naturales de Puerto Rico. Tomo I: Vol. IV. José Vivaldi, editor. San Juan, Puerto Rico: Departamento de Recursos Naturales. Editorial Librotex, Inc.
- McGraw-Hill. 2003. Dictionary of environmental science. McGraw-Hill, NY.

- Mercado, A. 2003. Criterios para la construcción en la zona costanera. *Boletín Marino* 24(4-6):3-8.
- Molina, M. 1994. Introducción al concepto de los terrenos y bienes públicos y su marco legal. *Acta Científica* 8(1-2):3-29.
- Moore, H.B. 1958. *Marine ecology*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Nevares Muñiz, D. 2005. *Nuevo código penal comentado*.
- Nienhuis, P.H. y A.C. Mathieson. 1991. Introduction. Páginas 1-5 en A.C. Mathieson and P. H. Nienhuis, editores. *Intertidal and littoral ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- NOAA. 2006. <http://www.ocrm.nos.noaa.gov/czm/czmpuertorico.html>
- Nybakken, J.W. 2001. *Marine Biology: an ecological approach*. Addison Wesley Longman, Inc, New York, NY. 516 p.
- Organización de las Naciones Unidas. 1982. *Convención de la ley del mar (UNCLOS, por sus siglas en inglés)*.
- Pilkey, O.H. y K.L. Dixon. 1996. *The corps and the shore*. Island Press, Washington DC. 272 p.
- Ranwell, D.S. 1972. *Ecology of salt marshes and sand dunes*. Chapman and Hall, London, England.
- Real Academia Española. 2001. *Diccionario de la lengua Española, Vigésimo Segunda Edición*.
- Ribó Durán, L. 1987. *Diccionario de derecho*. Bosch, Casa Editora, S.A., Barcelona, España.
- Salm, R.V. y J.R. Clark. 1989. *Marine and coastal protected areas: A guide for planners and managers*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Switzerland, 302 p.
- Seguinot Barbosa, J. 1998. *¿Quién defiende la naturaleza? Leyes ambientales de Puerto Rico y el Caribe*.
- The Conservation Foundation for the Council on Environmental Quality, Department of Commerce (Office of Coastal Zone Management), Department of Defense (U.S. Army Corps of Engineers), Department of the Interior (U.S. Fish and Wildlife Service), Environmental Protection Agency, and Federal Emergency Management Agency (Federal Insurance Administration). 1980. *Costal environmental management: guidelines for conservation of resources and protection against storm hazards*.
- Thurman, H.V. y H.H. Webber. 1984. *Marine biology*. Bell & Howell Company, Columbus, OH.
- Tous, J. 2005. El límite interior terrestre de la zona marítimo-terrestre: ¿Dónde se tira la línea? *Revista del Colegio de Abogados* 66:131-151.
- Tribunal Supremo de PR. 1969. *Rubert Armstrong v. E.L.A.*, 97 D.P.R. 588, 618.
- U.S.C. 33 U.S.C. 401 et seq., § 329.4.
- Vélez Torres, J.R. II. 1983. *Curso de derechos civiles- los bienes, los derechos reales*. Capítulo III.
- Voigt, B. 1998. *Glossary of coastal terminology*. Washington State Department of Ecology, Coastal Monitoring & Analysis Program. Publication No. 98-105, 87 p.
- Wilkinson, C., Editor. 2004. *Status of coral reefs of the world: 2004*. Volúmenes 1-2. *Global coral reef monitoring network*, 557 p.

ACTA CIENTÍFICA is the multidisciplinary journal of the Puerto Rico Science Teachers Association. **ACTA** publishes research papers in any scientific field, i.e., physics, chemistry, biochemistry, botany, zoology, ecology, biomedics, medicine, behavioral psychology, pharmaceutical technology, and/or mathematics. An *article* describes a complete and definite study. *Notes* describe a complete project, shorter, and usually referring to original findings or important modifications of previously described techniques. *Essays* discuss general scientific problems but are not based on original experimental results. *Reviews* discuss the most recent literature on a given subject.

Manuscripts should be sent in triplicate to the Editor, who will submit them for review to a referee in the field of science involved. Acceptance of papers will be based on their scientific content and presentation of material according to **ACTA's** editorial norms. Manuscripts can be presented in English or Spanish. Papers submitted for publication should be concise and appropriate in style and use of abbreviations. Submission of a manuscript implies it has not been published nor is being considered for publication by any other journal.

Ariel E. Lugo
Editor Acta Científica
International Institute of Tropical Forestry
USDA Forest Service
PO Box 25000
Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000

In order to ensure due consideration to each manuscript, authors are advised to consult the following INSTRUCTIONS TO AUTHORS:

- Manuscripts should be accompanied by a summary in Spanish and an abstract in English, double-spaced and on separate pages, headed by the complete title of the paper translated into English/Spanish in each case. The title should be informative and short, generally no longer than 12 words, a shorter title (no more than 40 letters) in the paper's original language should be included for use as a running head.
- Figures and photos should be identified on the reverse side by sequential number, first author's name, and manuscript title. A list of figures with corresponding legends should be typed double-spaced on separate pages.
- Tables should be typed double-spaced, presented on separate pages, numbered consecutively, have a short title, and be precise. Do not repeat the same material in figures and tables.
- Authors should use the metric system for their measurements. Consult the International System of Units (SI) as a guide in the conversion of measurements. When preparing text and figures, note in particular that SI requires: (1) the use of the terms "mass" or "force" rather than "weight"; (2) when one unit appears in a denominator, use the solidus (e.g., g/m²); for two or more units a denominator, use one solidus and a period (e.g., g/m².d); (3) use the capital "L" as the symbol for litre.
- Assemble the parts of the manuscript in this order: title page, abstract, text, acknowledgements, literature cited, appendices, tables, figure legends, and figures. Number all pages.

We recommend authors accompany the manuscript text with a list of all appendices, figures, photos, tables, etc.

ACTA provides authors with 25 reprints of each article, free of cost. Additional reprints can be ordered at the time of receiving the galleys.

The Editor is responsible for unsigned comments and editorials. The Science Teachers Association of Puerto Rico does not necessarily agree with any opinions expressed in **ACTA** nor do these opinions represent those of any individual member. Readers are cordially invited to make comments by sending letters to the Editor. This journal serves no commercial interest and does not provide economic benefit to its editors.



marejada ciclónica

playa

marea alta

nivel promedio del mar

marea baja

ZMT según el gobierno

ZMT PROPUESTA

servidumbre de protección (20 metros)

