
NOTAS SOBRE EL EQUILIBRIO DINAMICO EN LAS PLAYAS

*Ing. Carlos A. Quesada Mateo
Escuela de Ingeniería Civil
Universidad de Costa Rica.*

RESUMEN: *El estudio de las playas en cuanto sistema natural y en cuanto ecosistema biológico acapara el interés de científicos de todo el mundo por el atractivo turístico que tienen y por la aparente fragilidad que manifiestan. Además, no son raros los casos de explotación industrial de las arenas para fines de construcción y otros, justificando esa explotación en la creencia de que el mar formará de nuevo la playa y se restablecerá el equilibrio:*

Mediante un enfoque simplificado y generalista, el autor plantea a profesores y estudiantes de ecología, geografía física e ingeniería civil algunos problemas e informaciones sobre generación de las olas y el oleaje, tasas de abastecimiento de arena y su pérdida, tamaño y características del material, profundidad del agua en que se desplaza la onda, características topo-

gráficas del área cercana a la costa y del estrán; las corrientes del litoral, que define, como una faja transportadora, etc. También cita algunos casos de formaciones sedimentarias marinas recientes (flechas o cordones litorales) y algunos problemas derivados de la construcción de rompeolas en el país. Como los estudios referentes a la dinámica del mar recién se están iniciando en Costa Rica, el autor cita ejemplos de Estados Unidos.

SUMMARY: *The study of beaches in regards to natural and biological systems captures the interest of scientists from all parts of the world, not only for the tourist attractions that they offer but also for their apparent ecological fragility. Also, cases often occur of industrial exploitation of the beach sand for construction purposes etc., with a justification of this explo-*

tation in the often mistaken belief that the sea will create new and will re-establish the equilibrium.

By means of a simplified and general focus, the author presents to ecology students, physical geographers, and civil engineers some problems and information about the creation of waves, rates of sand accumulation and losses, size and characteristics of material, the water depth of breaking waves, topographic characteristics of the coastal areas, the littoral currents that are defined as transportation belts, etc. The author also mentions certain cases of marine sedimentary formations (shoreline ridges or bars) and some problems resulting from the construction of breakwaters in the country. The author refers to various dynamic oceanic studies that have taken place in the United States. He does not refer to examples in Costa Rica, as scientific oceanic studies are just beginning in this country.

RESUMEN: *La plage considérée soit comme processus morphologique, soit comme écosystème intéresse de nombreux savants; surtout que l'afflux touristique toujours croissant pourrait compromettre un équilibre peut-être fragile. En particulier se pose la question de l'impact de l'extraction du sable (pour la construction). On justifiè l'exploitation industrielle des plages par la croyance que la mer remplacera le matériel emporté ou du moins rétablira l'équilibre naturel.*

Ce travail se présente sous une forme générale et simplifiée et peut intéresser a des écologistes, des

géographes, des ingénieurs. Il expose une série de problèmes et d'informations dont voici un aperçu: gènese des vagues et de la houle ainsi que son comportement en fonction de la profondeur de la zone littorale et des caractéristiques de l'estran, taux d'alimentation du sable; taille et caractéristiques du matériel; courants littoraux qui, ici, sont définis comme des landes transportaues.

En plus l'auteur fait allusion à des cas de formations sédimentaires marines récents (flèches et cordons littoraux) ainsi qu'aux problèmes dérivés de la construction de brise-lames dans le pays.

L'auteur s'appuie davantage sur des exemples pris aux Etats-Unis vu que les études locales relatives a la dynamique marine ne font que commencer.

INTRODUCCION

Es incuestionable que las playas constituyen uno de los sistemas naturales más visitados por el hombre y, sin embargo, es quizás uno de los sistemas menos conocidos en su comportamiento físico. Probablemente sólo una pequeña minoría se atreva a preguntarse sobre las características que hacen diferente una playa de otra, ya sea respecto al oleaje, la pendiente, el tamaño de la arena, la composición de ésta, etc. Tampoco es común preguntarse qué le pasa a los millones de granitos de arena, por metro de playa, que cada ola levanta al reventar. Es posible que la posición más fácil sea

pensar que la arena siempre ha estado allí y que la playa se mantiene porque los granos de arena se mueven en un incesante vaivén, de adentro hacia afuera, al ritmo aparente de las olas.

Evidentemente, la playa es mucho más que un sistema físico en donde contienden diariamente mar y tierra. En efecto, es también un complejo sistema biológico y una fuente indiscutible de belleza y posibilidades recreativas. Sin embargo, en contraposición con estos sistemas naturales más o menos estables que tanto se disfrutaban pero que poco se valoran, el hombre contemporáneo en su sed nunca satisfecha de progreso material ha venido infligiendo duros golpes al equilibrio de estos ecosistemas.

El estudio de los procesos de costas ocupa un lugar prominente dentro de la hidráulica marina. Esta disciplina ha crecido rápidamente en las últimas décadas gracias a rigurosos análisis científicos, pero fundamentalmente se ha visto enriquecida con un cúmulo de conocimientos prácticos adquiridos al tratar de encontrar soluciones concretas a problemas reales, la mayoría de ellos ocasionados por el hombre al alterar el equilibrio de las zonas costeras.

Vale la pena recalcar que el equilibrio de la playa no es solamente el resultado de un proceso físico entre el agua y la arena, sino que también forma parte integral del ecosistema biológico de la zona. En consecuencia, el tema adquiere hoy día mayor trascendencia, pues generalmente las profundidades normales en donde ocurren las

interacciones y fenómenos físicos que se describirán posteriormente, son a la vez aquéllas de gran importancia para la biología marina y la industria turística, actividades éstas altamente valoradas en función de las necesidades alimenticias y de esparcimiento de las sociedades contemporáneas.

Es obvio que para muchos lo que pueda acontecer a nuestras costas tenga poca importancia; sin embargo, se desea dejar claro que los factores que interactúan en los procesos de costas ocurren con mayor o menor intensidad en cualquier playa. Además, no se garantiza que las de Costa Rica no corran una suerte similar a la de muchos otros países del globo, con el agravante que, de ocurrir aquí los graves trastornos que con frecuencia acompañan la alteración del equilibrio de las playas, puede resultar imposible repararlas debido a la carencia de recursos humanos, tecnológicos y de capital necesarios para llevar a cabo los costosos programas que demandan su mantenimiento y recuperación.

La carencia de información científica sobre procesos de costas locales y la ausencia en el pasado de graves problemas en nuestras playas, han hecho necesario recurrir a información de los Estados Unidos de América. Sin embargo, el objetivo de este trabajo no pretende analizar aspectos específicos, sino tocar en forma general los principales mecanismos que normalmente ocurren en cualquier playa o que, al menos, habría que tener en cuenta si se quisiera alterar su régimen natural.

Este trabajo pretende:

- a) Dar a conocer algunos conceptos generales que expliquen el comportamiento de la playa y su equilibrio;
- b) Ofrecer la oportunidad de descubrir en la playa un nuevo mundo, dinámico y frágil, en el que el material que la constituye forma verdaderos ríos de arena siguiendo la dirección de la corriente del litoral, y
- c) Hacer conciencia respecto de los serios problemas que podrían traer al país la ejecución precipitada de proyectos en el litoral.

El enfoque simplificado y generalista dado a este trabajo tiene por objeto permitir la utilización de este material para fines docentes, en especial para cursos universitarios relacionados con ecología, geografía física y como introducción al campo de obras portuarias en ingeniería civil.

1. GENERALIDADES

El proceso de costas se puede describir como la acción resultante de la lucha incesante que libran mar y tierra a lo largo de la franja costera, generalmente conocida como zona del litoral.¹ El campo de batalla es predominantemente la zona angosta en donde rompen las olas, disipando éstas su enorme energía parcialmente en turbulencias o arremetiendo poderosamente contra arrecifes y acantilados o, finalmente, haciendo uso de su gran capacidad de transporte, arrastrando

increíbles cantidades de arena. Esta capacidad de arrastre es de gran importancia en el proceso de acumulación o erosión de arena en las playas, así como en el equilibrio y estabilidad de las mismas. Dependiendo de su ubicación geográfica, de las condiciones locales, o de las características climatológicas prevalecientes en las diferentes estaciones, el arrastre de sedimento (arena) puede ser predominantemente de adentro hacia afuera, de afuera hacia adentro, o bien a lo largo de la costa a través de la corriente litoral. Sin embargo, es el balance neto en el transporte de sedimentos durante ciclos de tiempo bien definidos el que tiene importancia en el mayor o menor grado de estabilidad de las playas.

Otro factor determinante es el efecto del oleaje y su función en las corrientes del litoral. El concepto de ola es evidente para cualquiera persona que las haya presenciado alguna vez, a pesar de que muy pocas entienden lo que ellas representan. No sucede lo mismo con el concepto de la corriente del litoral que aunque haya sido experimentada por cualquier bañista, sólo muy pocas personas se han percatado de ella, y aún mucho menos comprenden su origen. Como se verá oportunamente, es la acción de las olas, las tasas de abastecimiento y pérdida de materiales, y el tamaño y características del material, las que interactuando continua y simultáneamente definen el estado de equilibrio de cualquier playa.

Ya los países más desarrollados han sufrido funestas consecuencias ca-

da vez que han ejecutado grandes obras de infraestructura en los litorales o inflingido alteraciones al equilibrio de la playa, sin tomar en cuenta todos los mecanismos que rigen este delicado sistema.

Nuestro país, con un acelerado cambio en la concepción de su desarrollo y, por ende, en la forma de vida de la sociedad que la compone, parece, aprestarse para embestir violentamente las zonas litorales.

Probablemente sin conocer los múltiples factores que entran en juego en los complejos procesos en las zonas costeras, a principios de 1973 se pretendió dar el visto bueno a la explotación minera de las arenas de las playas Potrero y Brasilito, en la provincia de Guanacaste.² Felizmente, el proyecto no se concretó, de lo contrario, no sólo se habría perdido el potencial turístico de estas playas sino que, además, el efecto de esta extracción de arena pudo haberse extendido a otras playas vecinas, ya que en general los procesos de costas están lejos de ser locales. Fieles testigos de la anterior afirmación son los graves daños ocurridos en muchas costas del mundo cuando se han interrumpido, sin estudios serios, los complejos procesos que operan en las costas.

A fines de 1972 un importante funcionario público manifestó por la prensa sus preocupaciones respecto de los graves problemas de erosión de playas en las costas de Barranca y Puntarenas, producto de la extracción de arenas para uso de la industria de la construcción. "Este país es muy curio-

so — escribía — mientras otros gastan fuertes sumas para crear playas artificiales, en Costa Rica las dañan con la explotación comercial de sus arenas, sin pensar que la reposición de éstas resultaría mucho más costosa que el beneficio relativo de la extracción".³

2. LAS OLAS

La teoría que explica la mecánica de las olas es extensa y complicada y no enteramente satisfactoria para todos los casos. Prueba de ello son las múltiples formas e impredecibles movimientos de la superficie del océano. Sus diversos orígenes, su naturaleza, comportamiento, características geométricas, así como su mecánica, desplazamiento y disipación de energía, están fuera del propósito de este trabajo. Las olas de interés en el caso aquí presentado son generadas por el viento, siendo este último, a su vez, producto de complejos factores meteorológicos*. El efecto principal de las olas al reventar en la zona litoral es el de modificar la línea de la costa a través de dos acciones principales: la erosión de roqueríos y acantilados y el transporte y depositación de sedimentos.

Cuando el aire se mueve sobre la superficie del agua, se origina una transferencia de energía entre los dos

* Para nadie es un secreto la magnitud de la energía generada por el viento. De ello son testigos los molinos de viento, los actuales veleros o los pesados galeones que en los siglos pasados podían desplazarse a velocidades atractivas con un "sistema motorizado" compuesto por velas, timón y viento.

fluidos. Parte de esta energía se utiliza en la formación de largas olas superficiales y otra parte conduce al establecimiento de corrientes en el agua.⁴

Las características de las olas formadas por el viento dependen de tres factores: la fuerza o la velocidad del viento, la distancia sobre la que éste sopla y el tiempo durante el cual actúa.

Cuando las olas se aproximan a la costa, estas características van a ser alteradas por la profundidad del agua en que se desplazan, de donde el conocimiento de la topografía submarina del área es de fundamental importancia para estudiar los efectos del oleaje sobre el litoral, en donde las olas liberan la mayor parte de su energía.

Las características de importancia son, fundamentalmente, aquellas ligadas a los taludes, dunas, y otras irregularidades de la playa que se presentan hasta unos diez metros de profundidad. Cualquiera variación en el talud o configuración del fondo provocará un cambio en las características de las olas y, por ende, en su forma de disipación de la energía y en el transporte de sedimentos. En algunos casos estas alteraciones pueden provocar consecuencias irreversibles al modificarse sensiblemente el transporte de sedimentos (arenas) a lo largo del litoral.

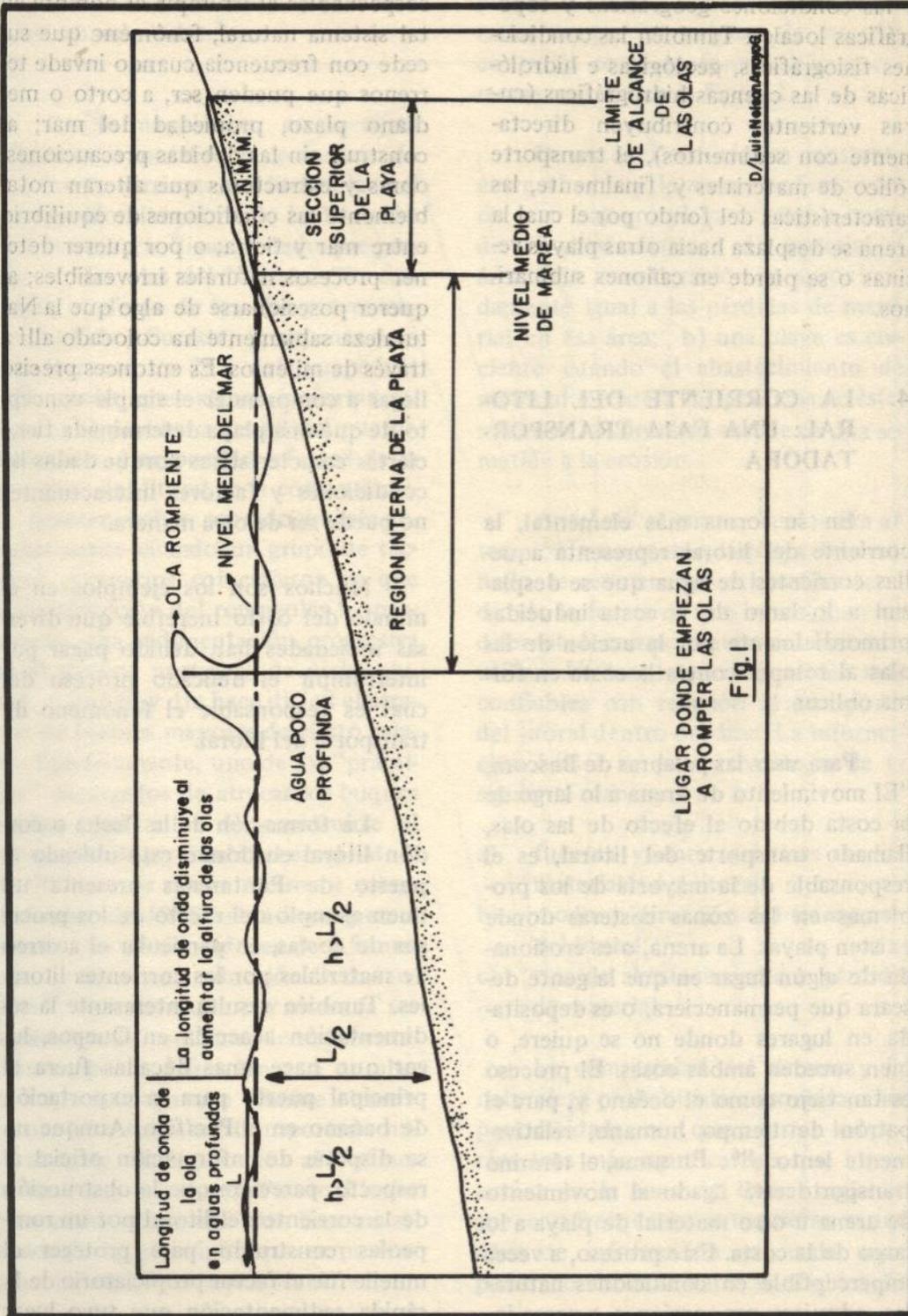
3. LA PLAYA

La idea de playa puede estar vinculada a un lugar placentero, correspondiente a un segmento de costa re-

cubierta de una capa de arena agradable para caminar sobre ella y para disfrutar. Strahler la define como "un depósito de arena, grava o cantos rodados formado en la zona de ruptura de las olas por la acción del constante avance de las mismas"⁵. Ella representa pues aquella frontera entre el mar y la tierra en que las rocas del subsuelo se hallan cubiertas de una capa de pequeños fragmentos de roca o arena que presentan, a su vez, rasgos muy variados en cuanto a tamaño, color y composición mineralógica. Las características predominantes de estos materiales juegan, sin embargo, un papel muy importante en el balance de aquellos segmentos de costa de valor turístico. Por ejemplo, el tamaño de los sedimentos está íntimamente ligado a la pendiente y a la playa: las más suaves corresponden a materiales más finos y viceversa.

Sin embargo, los ingenieros dedicados a la hidráulica marina han podido experimentar que esas angostas franjas del litoral normalmente se comportan como verdaderos ríos de arena. Es pues importante tener presente que las playas deben su existencia al abastecimiento de materiales y a la acción de las olas, lo cual les imprime un carácter eminentemente dinámico.

La playa se puede concebir entonces como un sistema natural en cuasiequilibrio en el que interactúan en forma compleja el talud, el tamaño y las características del material que la componen y su abastecimiento; las características de las olas, la dirección predominante del frente de las ondas



y las condiciones geográficas y topográficas locales. También las condiciones fisiográficas, geológicas e hidrológicas de las cuencas hidrográficas (cuyas vertientes contribuyen directamente con sedimentos), el transporte eólico de materiales y, finalmente, las características del fondo por el cual la arena se desplaza hacia otras playas vecinas o se pierde en cañones submarinos.

4. LA CORRIENTE DEL LITORAL: UNA FAJA TRANSPORTADORA

En su forma más elemental, la corriente del litoral representa aquellas corrientes de agua que se desplazan a lo largo de la costa inducidas primordialmente por la acción de las olas al romper contra la costa en forma oblicua.

Para usar las palabras de Bascom, "El movimiento de arena a lo largo de la costa debido al efecto de las olas, llamado **transporte del litoral**, es el responsable de la mayoría de los problemas en las zonas costeras donde existen playas. La arena, o es erosionada de algún lugar en que la gente deseara que permaneciera, o es depositada en lugares donde no se quiere, o bien suceden ambas cosas. El proceso es tan viejo como el océano y, para el patrón de tiempo humano, relativamente lento..."⁶. En suma, el término transporte está ligado al movimiento de arena u otro material de playa a lo largo de la costa. Este proceso, a veces imperceptible en condiciones naturales, adquiere proporciones a veces in-

sospechables al irrumpir el hombre en tal sistema natural, fenómeno que sucede con frecuencia cuando invade terrenos que pueden ser, a corto o mediano plazo, propiedad del mar; al construir sin las debidas precauciones, obras y estructuras que alteran notablemente las condiciones de equilibrio entre mar y tierra; o por querer detener procesos naturales irreversibles; al querer posesionarse de algo que la Naturaleza sabiamente ha colocado allí a través de milenios. Es entonces preciso llegar a comprender el simple concepto de que una playa determinada tiene ciertas características porque dadas las condiciones y factores interactuantes no puede ser de otra manera.

Muchos son los ejemplos en el mundo del costo increíble que diversas sociedades han debido pagar por interrumpir el delicado proceso del cual es responsable el fenómeno de transporte del litoral.

La formación de la flecha o cordón litoral en donde está ubicado el puerto de Puntarenas presenta un buen ejemplo del efecto de los procesos de costas, en particular el acarreo de materiales por las corrientes litorales. También resulta interesante la sedimentación acaecida en Quepos, lugar que hace unas décadas fuera el principal puerto para la exportación de banano en el Pacífico. Aunque no se dispone de información oficial al respecto, pareciera que la obstrucción de la corriente del litoral por un rompeolas construido para proteger el muelle fue el factor propiciatorio de la rápida sedimentación que tuvo lugar

en este puerto, cuyas instalaciones portuarias se encuentran hoy prácticamente abandonadas.⁷

En forma similar, en la costa atlántica es notable la presencia de una fuerte corriente del litoral, la cual sigue predominantemente la dirección de Limón hacia Sixaola, dado que prevalecen las olas del Noreste. Sin embargo, el efecto de las olas provenientes del Este y Sureste, que apenas ocurren durante un 25% del tiempo (5) (13) puede tener alguna importancia. Esto es el problema actual del puerto de Limón. Los posibles efectos de la corriente del litoral en la costa atlántica parecen haber cobrado interés recientemente cuando un grupo de técnicos portuarios coincidieron en que la construcción del rompeolas ha provocado una sedimentación progresiva en el sistema portuario de dicha ciudad, y que hoy día hace difícil el atraque de buques mayores de cierto calado. Efectivamente, uno de los "prácticos" encargados de atracar los buques explica que antes de construirse el rompeolas, la profundidad en el "Muelle 70" era de nueve metros y ya en diciembre de 1975 había lugares en el muelle con profundidades de 5.5 metros, es decir, una reducción de casi un 40%.¹² Pareciera que por ahora la solución a este problema de sedimentación es poner a funcionar, a un alto costo, una draga que elimine el sedimento que antes era transportado naturalmente. La explicación al fenómeno que hoy ocurre en Puerto Limón bien puede explicarse con base en algunos de los principios que se presentan a lo largo de esta publicación.

Las corrientes costeras que transportan la arena son creadas fundamentalmente por el golpear de las olas contra la costa en forma oblicua, como se muestra en la figura 2.

De esa acción dinámica constante entre el agua y la arena, podemos decir que: a) una playa es estable cuando el abastecimiento de material al área bajo consideración es aproximadamente igual a las pérdidas de material en esa área; b) una playa es creciente cuando el abastecimiento de material excede a las pérdidas de éste, mientras lo contrario sucede en una sometida a la erosión.

Antes de ocasionar cualquiera alteración a un sector de playa determinado se requiere un exhaustivo estudio de la forma en que interactúan los diferentes componentes del sistema, utilizando los datos disponibles más confiables con relación al transporte del litoral dentro del área. La información básica se puede catalogar de la siguiente manera:

- a) fuentes y características de los materiales del litoral;
- b) modo y dirección del transporte del litoral;
- c) tasa de abastecimiento y pérdida de material.

La complejidad del sistema y la naturaleza probabilística asociada a las periodicidades con que ocurren los parámetros más significativos que interactúan en la zona del litoral sugieren que, con frecuencia, se requieran varios años de información adecuada para poder contar con datos confiables de

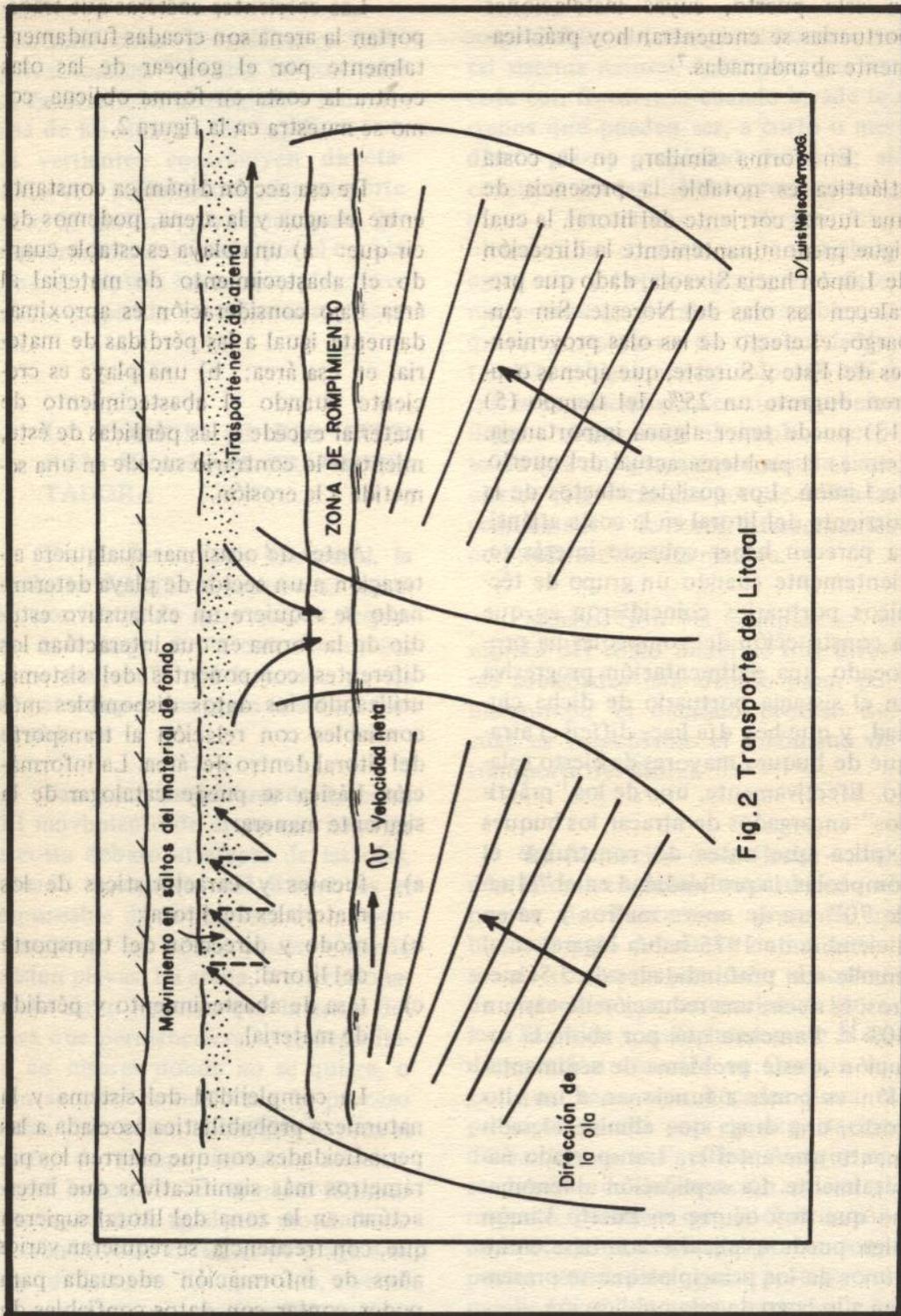


Fig. 2 Transporte del Litoral

los cuales derivar conclusiones con un sólido apoyo científico.

Muchas son las experiencias desagradables de graves procesos irreversibles en las costas a causa de resoluciones apresuradas y por la falta de comprensión de la sutil interacción de los diferentes componentes en el comportamiento de las playas*. En la mayoría de los casos, los daños han sido ocasionados por efectos directos o secundarios que han interrumpido el transporte del litoral⁹. Los remedios de reparación a estos daños han sido, generalmente, sólo parciales o temporales, resultando además económicamente prohibitivos, a no ser que se trate de las naciones económicamente más poderosas de la Tierra.

Nociones sobre la información básica para el estudio de la corriente del litoral.

La primera pregunta que debe plantearse en el estudio físico de las playas es acerca de las fuentes naturales principales de material que las componen. Estas fuentes resultan ser:

- a) material desplazado desde áreas de playa adyacentes por medio del transporte natural del litoral;
- b) contribución de sedimentos acarreados por ríos, arroyos, y quebradas, provenientes de las cuencas tributarias;
- c) material aportado por la erosión debido al efecto del oleaje sobre las formaciones costeras (arrecifes, acantilados, etc.), no provenientes de áreas de playas;
- d) movimientos netos de material

hacia la playa sobre considerables períodos de tiempo, que no corresponden a las variaciones normales de las estaciones u otras fluctuaciones periódicas.

Considerando la costa como un todo, el mantenimiento de la playa es posible sólo a expensas de la erosión de las masas terrestres, tanto locales como continentales.*

Es evidente que el problema del equilibrio en las costas está ligado a sistemas mayores y más complejos, pues, el acarreo de sedimentos por parte de los ríos está en función directa del uso de la tierra en las cuencas tributarias y de las características de su cobertura vegetal y precipitación. En ciertas áreas de suelos inestables y sometidos a altos montos de precipitación, el uso racional de los bosques garantiza la no ocurrencia de erosión masiva que podría traer consecuencias irreparables a los regímenes de ríos, a la estabilidad de las playas por el exceso de sedimentos, o a la flora y la fauna marinas. A este último aspecto debe prestársele toda la importancia que merece, pues una alteración notoria en el contenido químico de las aguas de algunos ríos o arroyos que desembocan en estuarios así como una modificación en el grado de turbidez del

*Para citar unos pocos ejemplos, algunas de las playas de Nueva Jersey, Santa Mónica, Santa Bárbara y Newport en California, Estados Unidos, y los problemas portuarios de Alejandría, Egipto.

* El efecto de la erosión y el arrastre de sedimentos se hace más obvio al darse cuenta que, según se estima, el río Potomac al pasar por Washington D.C., transporta unos 5.5 millones de toneladas de material sólido por año hacia el mar.

agua podría arruinar algunos de los más preciados tesoros del mundo animal, como lo son los ecosistemas corallinos, para citar un ejemplo. En Costa Rica existen lugares que representan verdaderos tesoros naturales como son, entre otros, las lagunas del Tortuguero, la isla del Caño, el arrecife de Cahuita y cientos de kilómetros de preciosas playas, cuyo equilibrio ecológico demanda particular atención a cualquier simple modificación al ambiente natural de sus áreas circundantes.

De especial importancia resultan, tanto la contribución de sedimentos de las cuencas vecinas cuyo material erosionado busca el mar como su último reducto, principalmente a través de los ríos, así como la erosión de las formaciones costeras bajo el impacto de las olas.

Procesos de la primera categoría han dado origen, por ejemplo, a ciertas características de las costas del Pacífico Norte de los Estados Unidos que están compuestas por una abundante capa de arena fina, y oscura, producto de la desintegración de las mesetas basálticas interiores y acarreadas hacia el mar por el río Columbia.

Los efectos de romper el equilibrio del suministro de sedimentos provenientes de la masa continental se reflejan en los graves problemas de erosión continua, como los que se han presentado en las playas del Sur y Oeste de los Angeles, California. Las fuentes de material han sido fatalmente interrumpidas en las últimas décadas por la construcción de embalses en los ríos

(transportadores de sedimentos) para solucionar las necesidades locales de demanda de agua o prevenir inundaciones. De esta forma la corriente del litoral, para mantener estable su capacidad de transporte, arranca de las playas del litoral unos 160.000 metros cúbicos de arena anuales que transporta hacia el sur en donde finalmente se pierden en el cañón submarino de La Jolla-Scripps, California.

Un caso típico de formación de playas a partir de las formaciones costeras se dan en las costas de los Grandes Lagos en los Estados Unidos. Los cambios de niveles en los lagos y el efecto del oleaje contra los diferentes materiales de las orillas provoca su socavamiento de cuyos productos se nutren las playas.

El transporte del litoral. Como se mencionó anteriormente, las olas y las corrientes son las responsables de suplir el trabajo necesario para desplazar los materiales del litoral. Existen varios métodos para el cálculo de la energía de las olas así como para calcular la cantidad de sedimento. Caldwell*, estableció una relación entre la energía disipada a lo largo de la costa y la cantidad de arena transportada.**

*Caldwell, Joseph, miembro de la Junta de Erosión de Playas de Estados Unidos de América del Norte.

** En condiciones climatológicas normales, la energía promedio usada en el transporte del litoral de Punta Concepción, a lo largo de la ciudad de Los Angeles, en California, EUA., es de unos 2.3 millones de kilogramos-metro por metros de playa, por día, es decir, de unos 32.000 caballos de fuerza por cada 100 kms. de playa.

La mecánica del transporte de material es, sin embargo, en extremo compleja y no se conoce aún con precisión; pero, sí se conocen parcialmente tres medios básicos:

- a) en forma de zig-zag en la parte superior de la playa, producto del ir y venir de las olas que se acercan a la costa en forma oblicua;
- b) principalmente en suspensión, en una zona un poco más profunda que es donde empiezan a romper las olas. La suspensión del sedimento es el resultado de la turbulencia y su movimiento es ocasionado por las corrientes del litoral,
- c) el material de fondo que se desplaza cerca del lecho arenoso deslizándose, rodando o saltando, producto de las corrientes oscilatorias de las olas en tránsito. Este movimiento ocurre a profundidades mayores que las de la zona en donde empiezan a romper las olas.

Independientemente del modo de transporte, la dirección y cantidad de material transportado depende fundamentalmente de la dirección y la energía con que las olas se aproximan a la playa. Este mecanismo ha sido muy bien expuesto por Petersen* en base a la siguiente analogía:

“Uno puede lograr una buena imagen del movimiento del material si se considera a la ola como una máquina excavadora y a la corriente generada por las olas

como una faja transportadora que desplaza el material que ha sido socavado.”

Este mecanismo se puede obviar si consideramos que cada ola levanta millones de granos de arena cuyo desplazamiento neto generalmente implica una traslación lateral, y que además lo normal es que en cualquier segmento de playa revienten unas 10.000 olas al día.

Experimentos realizados en diferentes áreas costeras y en varios laboratorios han determinado que el transporte de arena es máximo cuando el frente de ondas hace un ángulo de 30° con la playa.

Variabilidad y determinación del transporte del litoral.

La determinación de la dirección del transporte del litoral en un momento y espacio determinados, aunque importante como dato específico, dice muy poco del proceso de costas en general, y aún menos de la forma en que este transporte afecta el equilibrio global de las playas.

De primordial importancia es, sin embargo, establecer la dirección predominante del transporte del litoral durante un ciclo climatológico normal. Es también de importancia localizar la posición de las barreras naturales o artificiales, las áreas en que el transporte neto del sedimento se vea afectado cuantitativamente o cambie

* Munch Petersen: citado por Bascom¹

de dirección, y las zonas nodales. En las áreas nodales el movimiento del transporte del litoral es cero, es decir, los componentes en todos los sentidos posibles se neutralizan*.

Algunos de los métodos usados para determinar la dirección del transporte del litoral no son aplicables en forma general a todos los lugares.

En un informe² se sugiere el análisis de los siguientes factores para la determinación de las direcciones instantáneas y predominantes del transporte del litoral, de las barreras litorales y de las áreas nodales:

- a) crecimiento de la deposición de sedimentos, o efectos de erosión en estructuras existentes;
- b) patrones del litoral en la vecindad de promontorios;
- c) configuración de las riberas y lechos de las desembocaduras de los ríos;
- d) análisis estadístico de la energía de las olas;
- e) características de los materiales de playa;
- f) medición de las corrientes.

Es de importancia recalcar que las mediciones de la corriente del litoral sólo pueden servir de guía en cuanto a la dirección del transporte del litoral. Estas mediciones para ser de utilidad deben complementarse con una estimación cuantitativa tanto del material de suministro hacia la playa como de la pérdida del mismo.

Tasa de abastecimiento y pérdidas del material del litoral. Todo cuanto acontece en una playa en relación con su equilibrio va directamente ligado al balance neto de material, el cual depende de dos factores que son: la tasa de abastecimiento y la tasa de pérdida de material.

El conocimiento cuantitativo de estas tasas adquiere especial importancia pues representan las entradas y salidas respectivas de este sistema natural.

Tasa de abastecimiento. El estudio del equilibrio en una playa, la predicción del efecto neto de futuras estructuras en ésta, o el funcionamiento de las estructuras de protección, requieren no sólo del conocimiento de datos estadísticos sobre la dirección de la corriente del litoral sino también de la cantidad del material que se transporta, es decir, del transporte del litoral. Sólo es posible lograr una medición exacta del transporte del litoral por medio de una barrera artificial completa. En tales barreras es posible medir la acumulación de material aguas arriba de la barrera (en relación a la corriente del litoral) o bien la ocasionada aguas abajo de la misma. (Figura 3).

Las barreras parciales aunque dan una idea de la magnitud del problema no suministran datos confiables pues es muy difícil estimar el porcentaje de

* Para evitar extender este trabajo no se elaboró nada sobre ninguno de los puntos señalados; para ampliar la información sobre ellos revisar la bibliografía indicada al final.

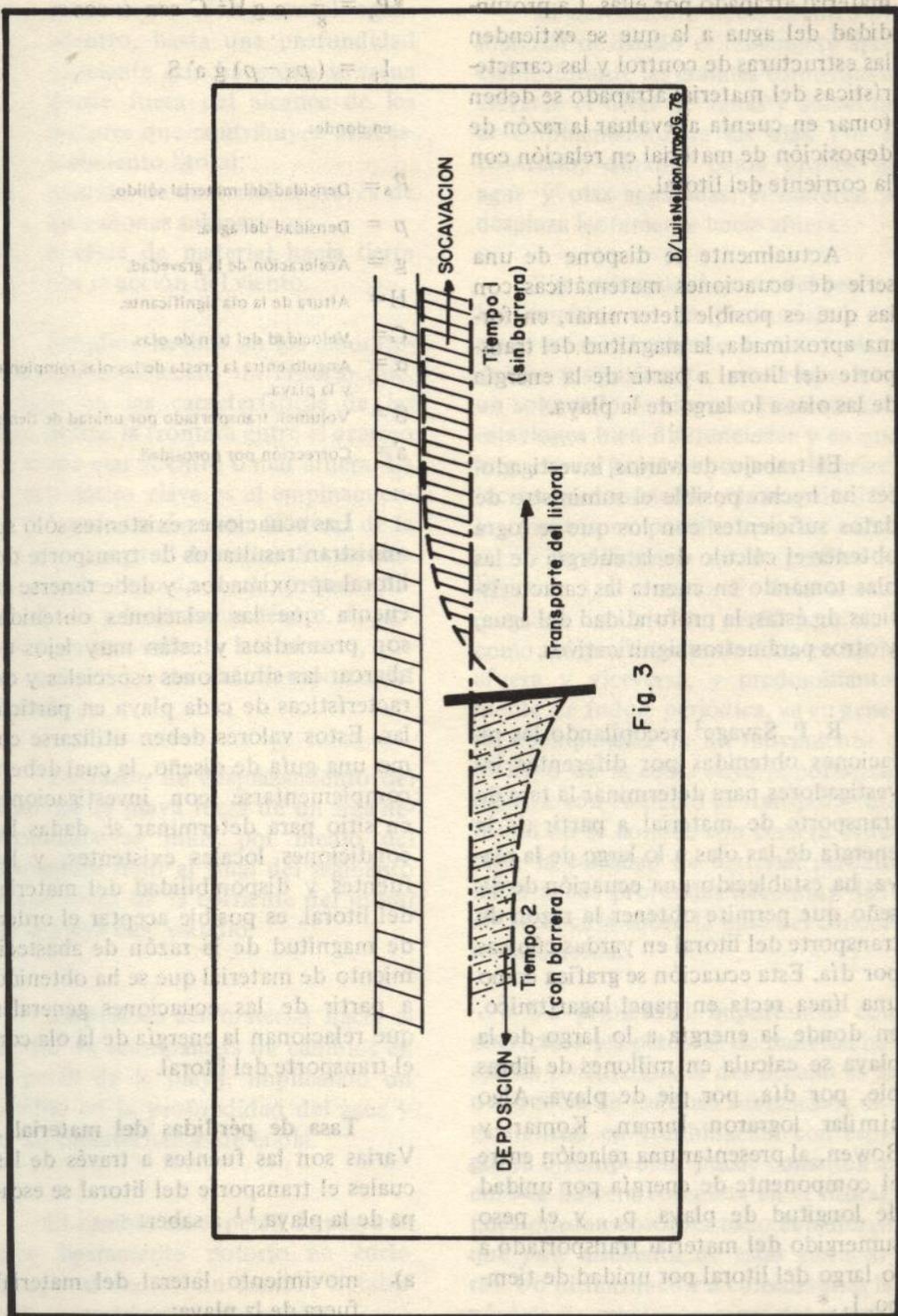


Fig. 3

D/Luis Nelson Arango, 76

material atrapado por ellas. La profundidad del agua a la que se extienden las estructuras de control y las características del material atrapado se deben tomar en cuenta al evaluar la razón de deposición de material en relación con la corriente del litoral.

Actualmente se dispone de una serie de ecuaciones matemáticas con las que es posible determinar, en forma aproximada, la magnitud del transporte del litoral a partir de la energía de las olas a lo largo de la playa.

El trabajo de varios investigadores ha hecho posible el suministro de datos suficientes con los que se logra obtener el cálculo de la energía de las olas tomando en cuenta las características de éstas, la profundidad del agua, y otros parámetros significativos.

R. P. Savage² recopilando las relaciones obtenidas por diferentes investigadores para determinar la tasa de transporte de material a partir de la energía de las olas a lo largo de la playa, ha establecido una ecuación de diseño que permite obtener la razón de transporte del litoral en yardas cúbicas por día. Esta ecuación se grafica como una línea recta en papel logarítmico, en donde la energía a lo largo de la playa se calcula en millones de libras pie, por día, por pie de playa. Algo similar lograron Inman, Komar y Bowen, al presentar una relación entre el componente de energía por unidad de longitud de playa, p_1 , y el peso sumergido del material transportado a lo largo del litoral por unidad de tiempo, I_1 .*

$$*P_1 = \frac{1}{8} \rho g H^2 G \sin \alpha \cos \alpha$$

$$I_1 = (p_s - p) g a' S$$

en donde:

p_s = Densidad del material sólido.

p = Densidad del agua.

g = Aceleración de la gravedad.

H = Altura de la ola significativa.

G = Velocidad del tren de olas.

α = Angulo entre la cresta de las olas rompientes y la playa.

S = Volumen transportado por unidad de tiempo.

a' = Corrección por porosidad.

Las ecuaciones existentes sólo suministran resultados de transporte del litoral aproximados, y debe tenerse en cuenta que las relaciones obtenidas son promedios y están muy lejos de abarcar las situaciones especiales y características de cada playa en particular. Estos valores deben utilizarse como una guía de diseño, la cual deberá complementarse con investigaciones en sitio para determinar si, dadas las condiciones locales existentes, y las fuentes y disponibilidad del material del litoral, es posible aceptar el orden de magnitud de la razón de abastecimiento de material que se ha obtenido a partir de las ecuaciones generales que relacionan la energía de la ola con el transporte del litoral.

Tasa de pérdidas del material.

Varias son las fuentes a través de las cuales el transporte del litoral se escapa de la playa,¹¹ a saber:

- a) movimiento lateral del material fuera de la playa;

- b) movimiento de material aguas adentro, hasta una profundidad suficiente que hace que la arena quede fuera del alcance de los factores que contribuyen al abastecimiento litoral;
- c) pérdida de material a través de los cañones submarinos;
- d) pérdida de material hacia tierra por la acción del viento.

Estudios hechos en los laboratorios han establecido un criterio que, basado en las características de las olas, define la frontera entre el acarreo de arena mar adentro o mar afuera. La característica clave es el empinamiento de la ola (razón entre la altura de la ola y su longitud de onda). Sin embargo, a cada ciclo de la ola, primero hacia afuera y luego hacia dentro, va asociado un movimiento lateral neto, que es causa y efecto del transporte del litoral.

La razón de desplazamiento del material de playa fuera de un área determinada se mide por medio del transporte neto al final del segmento aguas abajo de la corriente del litoral de la playa bajo estudio.

La pérdida del material hacia adentro va acompañada de cambios en el perfil de la playa, implicando un cambio en la profundidad del agua y en las características de la ola.

El cambio en el perfil de playa se hace ligeramente notorio en corto tiempo al ocurrir un cambio notable en las características de las olas.

El movimiento hacia adentro del material de fondo es fácilmente apreciable durante las grandes tormentas al elevarse el nivel de aguas y aumentar el empinamiento de las olas. Por el contrario, durante bajos niveles de agua y olas achatadas, el material se desplaza lentamente hacia afuera.

Sin embargo, el ajuste del perfil a los cambios en la profundidad del agua es relativamente lento, y si se quiere insignificante, con respecto a un solo ciclo de mareas. En áreas con estaciones bien diferenciadas y en que jueguen un papel importante la orientación predominante y la magnitud de los vientos es posible apreciar claramente la diferencia en los perfiles de invierno y de verano. Se debe anotar que este cambio de perfil percibido como un movimiento de adentro hacia afuera y viceversa, y predominantemente de índole periódica, va en general acompañado de un movimiento a lo largo de la costa cuya importancia relativa con respecto al transporte del litoral no se conoce con certeza. Además, la cantidad de material perdido hacia aguas profundas hace muy difícil predecirla sobre la base del conocimiento actual.

De primordial importancia con respecto a las pérdidas de material hacia las profundidades del océano es la ocurrencia de cañones submarinos. Su existencia, en combinación con espigones o rompeolas, puede constituirse en una barrera completa en el litoral, pues pueden absorber todo el material que pase alrededor de estas estructuras. Un último factor a considerar es la pérdida de material a causa del viento,

la cual en general se presenta en playas anchas expuestas a fuertes vientos, siendo éstos a su vez los responsables de que la arena se acumule formando dunas tierras adentro. El control requerido para determinar las pérdidas de este material por la acción del viento es enormemente costoso, pero no es un factor importante en el diseño de las estructuras marítimas.

En algunos casos, estas dunas exteriores a la playa juegan un papel significativo como protección natural de las tierras del litoral contra el embate de las olas durante fuertes tormentas así como su contribución relativa al equilibrio de la playa cuando la brisa sopla hacia mar adentro, situación en la que estas dunas pasan a aportar material a la corriente del litoral.

5. El equilibrio.

En una forma directa o indirecta, la mayoría de los temas hasta ahora desarrollados han tenido que ver con el equilibrio de las playas. Sin embargo, no sería redundante decir algo, aunque brevemente, sobre algunos puntos generales relacionados con el concepto de equilibrio.

Al inicio de este artículo se habló de la playa como un sistema natural en cuasi-equilibrio. El concepto de cuasi-equilibrio se usó para implicar dos aspectos: primero, la naturaleza dinámica del sistema; y segundo, que aunque en condiciones naturales los cambios ocurridos en un segmento de playa son en la mayoría de los casos imperceptibles durante el período de vida de un hombre, la realidad es que

durante el tiempo geológico nada escapa a sustanciales cambios. Sin embargo, ocurren situaciones en que aún bajo condiciones naturales se producen cambios apreciables a corto plazo. En un período de 35 años Inglaterra y Gales perdieron 1900 hectáreas de costa, pero a cambio ganaron 14.350 lo que representa un cambio neto de cerca de 364 hectáreas por año. Asimismo, mapas viejos de la costa de Yorkshire, Inglaterra, muestran las localizaciones de muchas ciudades que ya hace tiempo que fueron barridas por las olas, estando sus antiguos sitios representados hoy por bancos de arena a considerable distancia mar adentro. Durante la gran tormenta de 1953 en el Mar del Norte, un acantilado de 15 metros de alto retrocedió 12 metros en una sola noche en Suffolk.¹

Sin embargo, en la zona litoral de nuestro interés, es decir, la playa, es razonable esperar cambios lentos en los procesos naturales a no ser que intervenga el hombre.

Anteriormente se mencionaron algunos de los principales componentes interactuantes en la playa y ha quedado ligeramente expuesto cómo la ocurrencia de pequeños cambios en un componente hace que otros reaccionen de inmediato alterando el sistema en forma dinámica. Así, por ejemplo, el tamaño y las características del material de playa están íntimamente ligados a la pendiente de ésta, la cual a su vez afecta la característica de las olas, lo que a su vez modifica la energía disipada, etc.

Este efecto de reacción múltiple

en los varios elementos que actúan en una playa se observa muy bien al ocurrir una tormenta de grandes proporciones asociada a olas de gran tamaño. Como un proceso de defensa para evitar la erosión continua e incontrolada de la costa, una sección considerable de la parte superior de la playa erosionada se deposita aguas adentro formando dunas de apreciable tamaño que obligan a las olas a reventar prematuramente, disipando aguas adentro una parte significativa de la energía que inicialmente actuaba como un agente con gran poder de erosión en la parte superior.

Si bien el sistema generalmente responde con sensibilidad a los cambios naturales que le esperan, la actividad del hombre del siglo XX ha venido a alterar tan notablemente el sistema que ha logrado ocasionar en pocos años lo que podría tomar a la Naturaleza miles de años en efectuar.

Al respecto Bascom¹ escribe: Desafortunadamente, cualquiera cosa que acelere la erosión de una costa o retarde el movimiento normal de arena a lo largo de la playa afecta todas aquellas propiedades ubicadas dentro de la misma zona del litoral. Cualquier acción "remedio" que no considere los efectos en las playas aguas abajo únicamente causará más problemas. Así, el ingeniero de costas, además de considerar el complejo problema inmediato de la medida a tomar en un lugar determinado para mantener contentos a algunos propietarios de la costa, debe tener cuidado de no crear problemas más serios en alguna otra parte. Lo mejor que él puede esperar

es una buena solución para unas pocas generaciones; eventualmente los procesos geológicos a largo plazo superarán cualquier cosa que él haga".

Para tener una idea de las implicaciones económicas que podrían resultar al alterar el hombre el estado natural de las playas, sería de gran utilidad el nutrirse de algunas de las experiencias descritas y que tienen que ver precisamente con el elevado costo que ha debido pagar la sociedad estadounidense por haber alterado este delicado sistema.¹

Dentro de los muchos ejemplos citados por Bascom¹ resulta clásico lo ocurrido con el rompeolas de Santa Bárbara, California (ver Fig. 4). Esta estructura de grandes proporciones fue construida para proteger el puerto. Una vez construida, su efecto neto fue el de actuar como una barrera al transporte del litoral, sucediendo que por efectos locales la arena se depositó dentro del área de aguas quietas protegida por el rompeolas. En el término de unos años gran parte del puerto había quedado rellenado por una inmensa barra de arena, la cual constituía sólo parte del problema. Las playas hacia el este, al verse huérfanas de material, rápidamente sufrieron una erosión violenta que las dejó sin arena y los acantilados suaves fueron severamente atacados por las olas. La solución por más de 30 años ha sido dragar la arena dentro del puerto y bombearla hasta la primera playa expuesta a la acción de las olas en donde es impulsada por la faja transportadora de la corriente del litoral, continuando su viaje hacia el este y manteniendo la

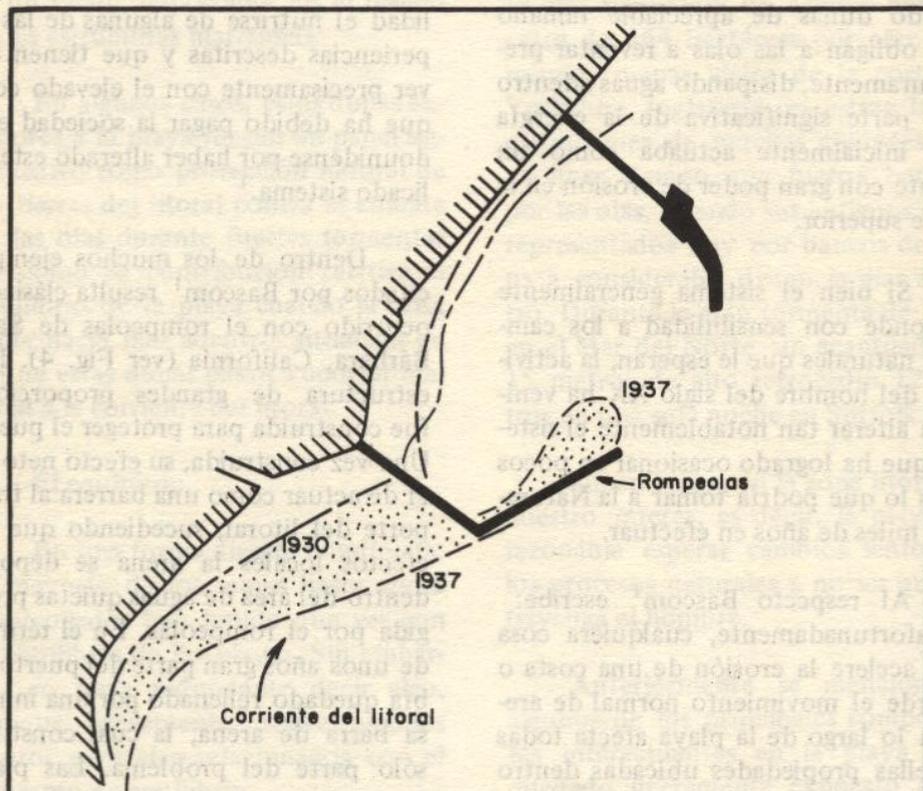


Fig.4. CAMBIO DEL FONDO EN LA PARTE OCCIDENTAL DEL PUERTO STA. BARBARA

D/Luis Nelson Arroyo G

estabilidad de las playas. Para tener una visión más clara del problema cabe anotar que el desplazamiento neto de arena en la costa de Santa Bárbara es de unos 230.000 metros cúbicos por año.

Los programas de "nutrición de playas" parecen ser la mejor solución para evitar su erosión y tienen gran aplicación a pesar de su elevado costo de operación y mantenimiento. Aún la famosa playa de Waikiki en Honolulu debe ser periódicamente reconstruida con arena acarreada en vagonetas desde unas dunas situadas a 23 kms. de distancia. En otro programa, arena nueva proveniente de depósitos tierra adentro, o del fondo de los lagos, se agrega a los ríos que desembocan en el litoral afectado.

Durante los pasados sesenta años, cerca de 70 millones de dólares se han gastado en los programas de mantenimiento de playas en la costa de Nueva Jersey, sobrepasando actualmente el gasto anual en más de dos millones de dólares y los resultados no son enteramente satisfactorios pues la costa si-

gue retrocediendo. Ante tales circunstancias, un nuevo programa de "nutrición de material" se aprobó a mediados de la década de los 60, para mantener las playas de valor turístico y prevenir su erosión futura. Este proyecto nutre a las playas supliendo arena a la corriente del litoral en parte a través de vagonetas que la traen desde tierra adentro y en parte por bombeo desde la bahía Barnegat. La inversión inicial se estimó en 26 millones de dólares y un costo de mantenimiento anual de un millón de dólares.

Como un último ejemplo, es interesante destacar el fenómeno de sedimentación ocurrido en Santa Mónica, California, al construirse un rompeolas paralelo a la costa. En este caso, el efecto no fue el de una barrera obstruyendo directamente la corriente del litoral, sino que al disipar el rompeolas la energía de las olas que antes transportaba el sedimento, el área protegida se convirtió en una región de aguas tranquilas donde ocurrió una deposición masiva, tal y como se muestra en la figura 5.

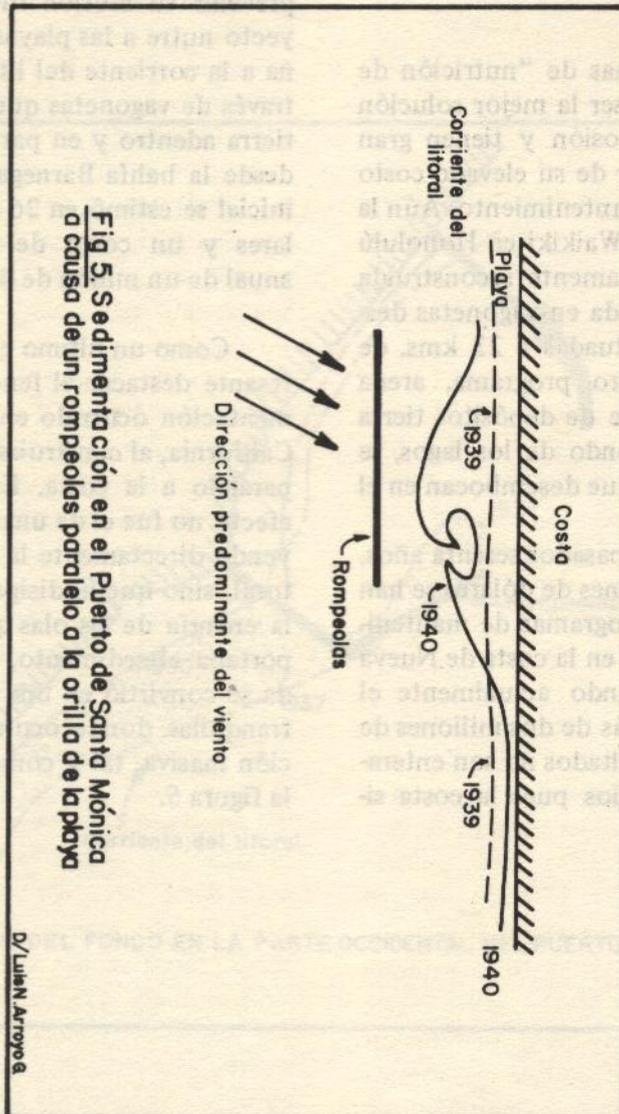


Fig 5. Sedimentación en el Puerto de Santa Mónica a causa de un rompeolas paralelo a la orilla de la playa

D/Luis Arroyo

CONCLUSIONES

Las experiencias vividas por los países económicamente más poderosos en relación a los trastornos a veces irreversibles ocasionados al ambiente, la mayoría de las veces producto de una codicia desmedida o de un desconocimiento de los equilibrios que ha impuesto la Naturaleza, debería ser el ejemplo guía de todos los países pobres en su política de explotación y conservación de los recursos naturales.

La sociedad costarricense debería preguntarse si estaría en capacidad de sostener programas de mantenimiento de playas que, como en Nueva Jersey, puedan requerir inversiones iniciales de 250 millones de colones anuales.

Pero acontece que todos los programas de mantenimiento y conservación de playas no solamente resultan extremadamente costosos sino que además requieren, para su buena marcha, de una tecnología avanzada, la cual debe ser manejada por especialistas, de los que generalmente se carece en las sociedades menos desarrolladas.

Son, pues, los países pobres quienes deben preservar con más ahinco y vehemencia sus playas, pues de lo contrario éstas podrían sufrir un deterioro fatal al no ser técnica y económicamente factible un programa de mantenimiento efectivo. Además, debe tenerse presente que todos los "imprevistos" que resultan luego de alterar un sistema natural tan delicado no están generalmente incluidos en los estudios económicos de los contratos de

explotación de arenas o de obras de infraestructura en el litoral.

Serán las generaciones futuras las que, en todo caso, reclamarán el que, a pesar de tantos avances científicos, por miopía, intereses o ignorancia, no se le haya prestado la debida atención al equilibrio de un sistema del que se derivan tantos beneficios.

Este trabajo no pretende sustentar una actitud negativista respecto al uso de ese recurso natural que es la playa, sino más bien destacar la importancia de conocer y comprender la naturaleza para poder diseñar con ella y no contra ella. Esta concepción de un utilitarismo bien entendido es justificable sobre todo cuando la Naturaleza, como ha sucedido tantas veces, pueda reclamar sus derechos sobre proyectos millonarios a veces con resultados irreversibles y pérdidas irrecuperables para una nación.

BIBLIOGRAFIA

- BASCOM, Willard. *Waves and Beaches, the Dynamics of the Ocean Surface*. Anchor Books, Garden City, New York. 1964.
- BEACH EROSION BOARD, Office of the Chief of Engineers U.S. Army. *Shore Protection Planning and Design*. Technical Report No. 4, U.S. Government Printing Office.
- EAGLESON, Peter S. *Dynamic Hydrology*. McGraw Hill, New York. 1970.
- GUARDIA, Carlos Manuel. *Dstrucción de las Playas nos Preocupa Seriamente*. "La Nación", 26 de marzo de 1973, pág. 2.
- MARIN ARCE, Enrique. *Rompeolas de Limón, Planos de Oleaje, Análisis Teórico*. Tesis de Grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. Julio, 1973.
- SALAS, Sergio. "La Costanera" se construirá con destrucción inútil de la Naturaleza". "La Nación", 20 de octubre de 1975.
- SALGUERO, Miguel. ¿Destruirán Playa Potrero? "La Nación", 21 de enero de 1973, pág. 8.
- SALGUERO, Miguel. *Titanio y Oro en Potrero y Brasilito*. "La Nación", 25 de enero de 1973, pág. 36.
- STRAHLER, Arthur N. *Geografía Física*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España. 1974.
- VENEGAS, León. *Peligran nuestras playas*. "La Nación", 22 de diciembre de 1972.
- Notas de Clase del Curso CE-616 - Coastal Engineering. Verano de 1971. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Limón: Sedimentación impedirá atraque de vapores. "La Nación", 7 de diciembre de 1975, pág. 1B.
- Rompeolas no es causante de sedimentación en Limón. "La Nación", 10 de diciembre de 1975.
- Jorge Luis Dubón (Ingeniero Hidráulico). Consulta personal.