PROCESOS Y EFECTOS MARINO-COSTEROS Y SUS RELACIONES CON OBRAS MARÍTIMAS Y CON USOS TURISTICOS DEL TERRITORIO. ANALISIS DE IMPACTOS EN EL LITORAL VENEZOLANO.

JESÚS MARTÍNEZ MARTÍNEZ

EDITOR
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES
ISLA DE MARGARITA

PROCESOS Y EFECTOS MARINO-COSTEROS Y SUS RELACIONES CON OBRAS MARÍTIMAS Y CON USOS TURISTICOS DEL TERRITORIO. ANALISIS DE IMPACTOS EN EL LITORAL VENEZOLANO.

JESÚS MARTÍNEZ MARTÍNEZ

EDITOR
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES
ISLA DE MARGARITA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE:

Rector: Dr. Clemente Vallenilla
Vicerrector Académico:M.Sc. José Martínez
Vicerrector Administrativo: Dra. Veridiana González
Secretario de la Universidad (E): M.Sc. Orangel Cedeño

Coordinador General de Postgrado: Dr. Pedro Mago
Coordinador de Formación de Recursos Humanos: Dr. Benjamin Hidalgo

AUTORIDADES DEL NUCLEO DE NUEVA ESPARTA

Decano: M.Sc. Luis Avila Guerra
Coordinador Académico: M.Sc. Teresita González F.
Coordinador Administrativo: M.Sc. José R. Ramírez R.
Director Escuela Ciencias Aplicadas del Mar: M.Sc. Aljadys González C.
Directora Escuela de Hoteleria y Turismo: M.Sc. Norma Licháa de Gallardo
Director Unidad de Estudios Básicos: M.Sc. Marcelis Mata M.
Director Instituto de Investigaciones Científicas: Dr. Tomás Cabrera B.
Director Centro Regional de Investigaciones Ambientales: M.Sc. Jesús R. Hernández M.
Coordinador Científico: Dr. Luis León S.

Derechos Reservados 1996
Editado por el CRIA de la UD0 (Núcleo de Nueva Esparta)
1ª edición, 1994
Depósito Legal: ISBN 980 - 234 - 058 - 8
Impresos Hernández. Porlamar. Isla de Margarita.

A MAILLÍM VÁZQUES SOLIS, A UNA BELLA CARIBEÑA, QUE ES EL "FUEGO" QUE SURGE EN EL "BOSQUE DE LA NOCHE"

7 de mayo de 1996

Jesús Martínez

ÍNDICE

Páginas

Presentación. 10

Prólogo. 11

Capítulo 1: Enmarque histórico y operativo de las estructuras conductoras de los procesos y efectos físicos, en los sistemas litorales. La filosofía de procedimiento de las actuaciones del hombre en estos entornos. 12

Concepto evolutivo y retrospectiva histórica del estudio de los procesos físicos en playas.

Hilos conductores, justificación y objetivos de los tópicos a desarrollar.

Capítulo 2: El clima marítimo incidente, a modo de herramienta básica en el estudio de los procesos y efectos físicos en playas. 24

Concepto de clima marítimo.

Tipos de oleaje.

Los datos "operativos" de un registro de oleajes, a profundidad indefinida.

Cálculos de alturas y longitudes de onda de un oleaje, en rompientes.

Conceptos de "aguas arriba" y de "aguas abajo".

Capítulo 3: Conceptos de playas. 31

La definición de playa en los textos legales. Sus limitaciones.

Las playas como sistemas físicos.

Los sub-ambientes sedimentarios de las playas.

Capítulo 4: Las clasificaciones descriptivas de las playas. 33

Introducción.

Desarrollo de una clasificación descriptiva.

Capítulo 5: Los materiales sueltos de las playas. 36

Panorámica general.

Criterios de muestreo en las playas arenosas.

Caracterización mineralógica - petrológica de los terrígenos, para la identificación de fuentes de aportes sedimentarios.

Concepto de textura granulométrica. Los cálculos de los parámetros granulométricos de las arenas y sus significados.

La clasificación granulométrica de las arenas.

Estimaciones de intensidades relativas, evoluciones, desplazamientos y duraciones de energías cinéticas medias, en los ambientes de playas arenosas.

Determinación de ambientes sedimentarios.

La morfoscopía y su interpretación.

Capítulo 6: Formas menores (estructuras sedimentarias) de las playas. 49

Concepto de formas menores de las playas.

Ubicación del estudio de las formas menores.

Sistematización de las formas menores.

Definiciones y descripciones de las formas menores significativas de las playas.

Capítulo 7: Las playas arenosas como sistemas de transporte y depósito. 55

Concepto de corrientes marinas Los transportes de áridos..

Playas en litorales de transportes libres e impedidos.

La capacidad de transportes longitudinales en los litorales.

Diagramas de corrientes y de transportes sedimentarios en playas.

Las corrientes de retorno (rip currents).

Las playas como sistemas sedimentarios abiertos y cerrados.

Concepto de provincias morfodinámicas.

Capítulo 8: Las clasificaciones morfológicas genéticas de las playas. 67

El contexto de las clasificaciones genéticas de las playas.

Premisas de partida de la Clasificación Morfológica Genética de Suárez Bores (1978).

Análisis en planta de las playas. Las singularidades.

Esquematización de las singularidades.

Las posiciones de equilibrio de las orillas, tras los análisis en planta de las playas.

Análisis en perfil de las playas.

Esquematización de los subíndices y superíndices.

Combinatoria de posibilidades.

Metodología para la clasificación de una playa.

Capítulo 9: Las clasificaciones morfodinámicas de las playas. 82

Resumen conceptual.

La hidrodinámica del oleaje incidente, en relación con la morfodinámica de los depósitos de áridos.

Los estadios morfodinámicos de las playas arenosas.

Identificación de los estadios morfodinámicos de las playas arenosas, por las características topográficas de los depósitos más internos, sometidos a la hidrodinámica del oleaje.

El transporte transversal, en el marco de los estadios morfodinámicos de las playas arenosas.

Las barras de los comportamientos morfodinámicos de las playas arenosas.

Los cusps y sus relaciones con la morfodinámica de las playas arenosas.

Capítulo 10: La acreción y la erosión sedimentaria, con sus índices y parámetros, en las playas arenosas. 98

El seguimiento topográfico de las playas. El cálculo de cubicajes de áridos.

Los movimientos topográficos longitudinales y transversales en los depósitos sedimentarios.

Los índices de los procesos de acreción y erosión en playas.

Los parámetros de los procesos sedimentarios en playas.

Capítulo 11: Las clasificaciones climáticas de las playas. 107

Concepto de clasificación climática de las playas.

Escenarios, metodologías, resultados y discusiones que permitieron llegar al desarrollo de una clasificación climática.

Las playas monoclimáticas, biclimáticas y policlimáticas.

Los grandes grupos regionales de playas climáticas: Las playas del litoral venezolano.

Capítulo 12: Los modelos numéricos de los procesos y efectos sedimentarios más internos de acreción y de erosión, en playas arenosas. 115

Introducción a la modelización de los procesos y efectos intermareales de la acreción y de la erosión, en playas arenosas.

Bancos de datos de partida, para el diseño de los distintos modelos.

Modelos a partir de una ecuación diferencial, con un término logístico y otro de saturación.

Modelos de ecuación diferencial, con un término logístico, otro de impulsos energéticos y un tercero de ruidos.

Modelos deterministas, para evaluar los impulsos energéticos.

Modelos de la composición frecuencial, del balance sedimentario, para determinar, en parte, el término de ruidos.

La simulación informática de los procesos sedimentarios.

Capítulo 13: De las playas arenosas sumergidas a las plataformas litorales someras de arenas. .. 121

Limitación del escenario de las playas sumergidas.

La "Regla de Bruun" (1962): Concepto, generalidades y aplicabilidad.

El perfil transversal de equilibrio de Dean (1977), y su aplicabilidad en el estudio de las playas.

Relaciones de una plataforma litoral somera de arenas con una playa inmediata, de aguas arriba.

El perfil de equilibrio de una plataforma litoral somera de arenas.

Alteraciones de los perfiles de equilibrio de las plataformas litorales someras de arenas, mecanismos de recuperación y sus repercusiones en las playas limítrofes.

Pautas a seguir en el estudio de una plataforma litoral somera de arenas, en relación con actuaciones de manejo de un litoral.

Capítulo 14: Las dunas litorales. 128

Concepto de dunas.

Variables, condicionantes y dependencias de las formaciones dunares de los litorales.

Las playas como fuentes de aportes de arenas, para formar dunas.

La nomenclatura de las dunas.

Composiciones, estructuras y texturas de las arenas eólicas.

La dinámica de las formaciones dunares del litoral.

La modelización de los procesos y efectos de las dunas litorales.

Capítulo 15: Las inferencias de geometría fractal, en los procesos y efectos físicos del litoral. .. 141

La geometría de los granos de arena, en la dinámica sedimentaria.

Enmarque y delimitaciones del estudio de los fractales, en los procesos y efectos físicos del litoral.

Metodología de las inferencias de geometría fractal, en la dinámica del transporte de áridos.

Capítulo 16: La cartografía de los procesos y efectos físicos en el litoral. Su aplicación a las formaciones dunares litorales. 144

Modalidades de mapas.

Representación de la información.

Las cartografías de las formaciones dunares litorales, a titulo de ejemplos.

Capítulo 17: La calidad ambiental y la vulnerabilidad física de los litorales: El caso de las playas arenosas. 147

Conceptos básicos previos.

Metodología estándar, con sus fundamentos.

Cálculo de calidades.

Ejemplo de estimación de una calidad ambiental, en un prototipo de playa arenosa.

Descriptores de vulnerabilidad: Conceptos y metodología de cálculo.

Ejemplos de descriptores físicos de vulnerabilidad, válidos para las playas arenosas.

Indicadores de vulnerabilidad: Conceptos y metodología de cálculo.

Ejemplo de cálculo de un indicador físico de vulnerabilidad, para una playa arenosa. .

Capítulo 18: Las obras de ingeniería costera, y sus relaciones con los procesos y efectos sedimentarios. 162

Introducción.

Clasificación de las obras marítimas.

Causas - efectos de impactos físicos en el litoral, por obras marítimas.

Secuencias significativas concatenadas de procesos naturales, actuaciones antrópicas y sus efectos inducidos.

Capítulo 19: Las intervenciones antrópicas en el litoral y sus áreas de influencia. 172

Conceptos generales.

Ejemplo de determinación de un área de influencia física.

Capítulo 20: Metodologías para el estudio de impactos físicos ambientales en el litoral. 178

Introducción al estudio de los impactos físicos ambientales, por obras marítimas.

Las matrices causas - efectos.

La matriz simplificada operativa, con su metodología peculiar en los cálculos.

Ejemplo de aplicación de las matrices diseñadas, en el caso de una intervención de ingeniería costera, en una playa arenosa

Capítulo 21: La sustentabilidad física de las playas arenosas, por intervenciones antrópicas. 191

Introducción.

Descriptores de sustentabilidad: Conceptos, clasificaciones y evaluaciones.

Lista base de descriptores de sustentabilidad física, de algunos entornos litorales.

Indicadores de sustentabilidad: Conceptos y clasificaciones.

Metodología de cálculo de indicadores de sustentabilidad.

Ejemplo de estimación de un indicador de sustentabilidad física.

Capítulo 22: Ejemplos de actuaciones en playas y dunas. 199

Introducción.

Escenarios de las actuaciones.

Criterios adoptados en las actuaciones.

Descripción de las intervenciones en las playas.

Punto final. 207

Bibliografía. 208

PRESENTACIÓN

Cuando tuve la ocasión de conocer al Dr. Jesús Martínez, le manifesté mi aspiración de tomar algunos cursos de Impacto Ambiental, de los que acostumbra a dictar en el Instituto Oceanográfico de la Universidad de Oriente, en Cumaná.

Meses después tuve esa oportunidad, aquí, en la Isla de Margarita, y quedé complacido por su sabiduría y metodología para enseñar la materia en cuestión.

Hoy, el Dr. Martínez me sorprende al solicitarme le escriba algunas líneas sobre el *Curso Internacional "Procesos y efectos marinos - costeros y sus relaciones con obras marítimas y con usos turísticos del territorio. Análisis de impactos en el litoral venezolano"*, que dictaría en el C.R.I.A. del Núcleo de Nueva Esparta de la U.D.O.

Este documento sigue un orden lógico y didáctico, a través de sus 22 capítulos, donde se hace un análisis de las variables ambientales y de los impactos antropogenéticos en el litoral venezolano, en unos casos, y extrapolables a él, en otros.

El valor del medio ambiente se ha subestimado por mucho tiempo, lo que ha traído como consecuencia prejuicios para la salud humana, ha reducido la productividad y ha menoscabado las perspectivas del desarrollo.

Hay una cadena de problemas, producto de diferentes formas de ordenación desacertada del medio ambiente, que requieren atención urgente.

La adopción de decisiones, relativas a esos problemas ambientales, se complica en razón de las incertidumbres que rodean a los procesos físicos y ecológicos, al largo plazo de sus efectos y a la posibilidad de umbrales más allá de los cuales pueden producirse cambios imprevistos o irreversibles.

La incorporación de las consideraciones ambientales, en los proyectos de desarrollo, está en una fase de expansión, con una tendencia muy marcada hacia la definición de políticas para prevenir, anticipar y evitar problemas, mediante la aplicación de metodologías como las utilizadas en los estudios de Evaluación de Impacto Ambiental. Su adecuada adaptación a proyectos específicos, como las obras marítimas y de usos turísticos, permite mitigar gran parte de los componentes negativos de los mismos.

En el cumplimiento de estas premisas fundamentales, el curso del Dr. Martínez representa una contribución directa a la enseñanza de las Ciencias Ambientales en niveles educativos, que abarcan importantísimos sectores de la población y, al mismo tiempo, propugna la difusión del saber científico, para apuntalar el desarrollo sustentable del país.

Quiero expresar mis más sinceras felicitaciones al autor, quién, no sólo en virtud de sus escritos sino por el merecido cariño y respeto que le reconocen los estudiantes y profesores de los cursos internacionales sobre impacto ambiental, ocupa un puesto de preferencia entre los especialistas en este campo, en nuestro continente.

Pablo Ramírez V.

Profesor Titular del
Núcleo de Nueva Esparta de la U.D.O.

PRÓLOGO

Desde el punto de los criterios para la evaluación de proyectos, podemos considerar la Historia de la Construcción dividida en dos etapas. En la primera, los *criterios económicos* han prevalecido no sólo para el dimensionamiento de las obras sino, incluso, para decidir el tipo de solución.

En la actualidad, sin embargo, algunos proyectistas consideramos que los criterios económicos, aunque estén moderados por los estudios de Impacto Ambiental, no son suficientes para garantizar el acertado proyecto de las obras. Primero, y fundamentalmente, las obras deben cumplir con la función a que se destinan, y en segundo lugar, deben ubicarse en el medio natural en armonía. Tienen que estar de acuerdo con el medio en el cual se construyen.

Para lograr este objetivo y conseguir una auténtica *Ingeniería Ambiental*, es condición fundamental el conocimiento adecuado:

- de todos y cada uno de los ambientes que integran nuestro Planeta, y a los que afectan directa o indirectamente nuestra obra: Atmósfera, Hidrosfera, Manto sólido, Biosfera,

- de las leyes de sus agentes (vientos, oleajes, mareas, etc.),

- y así como de los procesos (geomorfológicos, edáficos, ecológicos, etc.), que rigen su evolución.

Sólo este conocimiento, unido a un gran respeto y amor a la Naturaleza, pueden y deben ser la base de los criterios aplicables al proyecto en el siglo XXI, para el acertado diseño y proyecto de las obras, tanto marítimas como terrestres.

Precisamente, en este sentido, ambiental, con especial énfasis puesto en la acción del hombre y sus consecuencias, a enfocado nuestro querido amigo, el Profesor Martínez Martínez, este interesantísimo libro, sobre la *gestión del litoral*, que hoy tengo el honor de prologar.

Pedro Suárez Bores.

Catedrático de Universidad.

Escuela Técnica Superior de Puertos, Caminos y Canales.
Universidad Politécnica de Madrid.

CAPÍTULO 1

ENMARQUE HISTÓRICO Y OPERATIVO DE LAS ESTRUCTURAS CONDUCTORAS DE LOS PROCESOS Y EFECTOS FÍSICOS, EN LOS SISTEMAS LITORALES. LA FILOSOFÍA DE PROCEDIMIENTO DE LAS ACTUACIONES DEL HOMBRE EN ESTOS ENTORNOS.

ESQUEMA:

1. Concepto evolutivo y retrospectiva histórica del estudio de los procesos físicos en playas.

2. Hilos conductores, justificación y objetivos de los tópicos a desarrollar.

1. CONCEPTO EVOLUTIVO Y RETROSPECTIVA HISTÓRICA DEL ESTUDIO DE LOS PROCESOS FÍSICOS EN PLAYAS.

El estudio de procesos físicos en playas es relativamente reciente. Pero a pesar de su corta Historia, no deja de cobijar hechos emocionantes y apasionantes, que muestran:

- Las equivocaciones del Hombre. Para algunos, muchas de las intervenciones costeras forman un "catálogo de errores". En España, buena prueba de ello se obtiene en las actuaciones, y posteriores modificaciones, o intentos de correcciones, en el litoral Mediterráneo (Martínez y Casas, 1994).

- El aprendizaje a partir de errores.

- Y los nacimientos, más o menos bruscos, de grandes ideas.

Las investigaciones y actuaciones sobre el terreno, en esta línea, se inician en la década de los 50, y toma auge en los años 80. No obstante, hay estudios anteriores, muy significativos. Sirvan de ejemplo, entre otros, los dos siguientes:

- Tides and Waves (1845), de G. Airy.

- Y Shore Processes and Shoreline Development (1919), de D.W. Johnson.

******* *******
****

Como grandes recopiladores de información, sobre Procesos Físicos en Playas, se pueden citar a los siguientes, dentro de un abanico más amplio:

a). D. Johnson, con su obra Shore Processes and Shoreline Development, publicada en 1919.

b). V. Zenkovich, con Processes of Coastal Development (1967).

c). R. Silvester, con Coastal Processes, publicada en 1974.

d). P. Komar, con sus Beach Processes and Sedimentation (1976) y Handbook of Coastal Processes and Erosion (1983).

e). K. Harikawa, con su Coastal Engineering (1978).

f). J. Pethick, con An Introduction to Coastal Geomorphology (1984).
g). Y B. Edge, que desempeña, actualmente, un papel importante, como editor de los Proceedings, de las Coastal Conferences, de la American Society of Civil Engineers.

La publicación del Shore Protection Manual, en 1973, del C.E.R.C. (USA), es un punto obligado de referencia, en cuanto a recopilación de información operativa. Constituye un hito, que marca un antes y un después. Esta obra, en dos extensos volúmenes, se ha reeditado sucesivas veces, en años posteriores.

******* *******
****

En el estudio de las interacciones entre las obras marítimas y los Procesos Físicos en Playas, juega un papel decisivo el conocimiento profundo y directo del oleaje. Este representa una respuesta a una conjunción compleja de ondas. De aquí, que se comience con una pequeña reseña de los primeros investigadores y trabajos sobre ondas, en un resumido enmarque histórico de los tópicos, referentes a los procesos físicos, en ambientes sedimentarios de playas.

Desde tales perspectivas, el mérito a una aproximación lineal, a la teoría de las ondas, corresponde a G. Airy, en su Tides and Waves (1845). Las teorías no lineales nacen con G. Stokes, en On Theory of Oscillatory Waves (1880).

Fue en Espana donde se estableció, por primera vez en el mundo, una red exterior de registro del oleaje. La red se proyectó en 1968, por P. Suárez Bores, desde el CEDEX (Madrid), y se desarrolló y completó, en sus distintas fases, a partir de esa fecha. Hoy día, se encuentra absolutamente operativa.

Globalmente, el conjunto de procesos, en los depósitos sedimentarios de playas, dependen, fuertemente, de la energía del oleaje rompiente. Entre 1948 y 1984, R. Wiegel (1948), W. Munk (1949), P. Komar y M. Gaughan (1972), F. Camfield y W. Seelig (1984), y otros, desarrollan expresiones, extrapolaciones, tablas empíricas, de aplicación iterativa, y metodologías, para estimar energías del oleaje, en el estrán.

Un aspecto muy importante, de la Física de las playas, está en el transporte sólido longitudinal, que se puede deber:

- A la incidencia oblicua del oleaje (transporte Q_α).

- Y/o a los gradientes de sobre-elevación del agua del mar, sobre el estrán (transporte Q_s).

El transporte Q_α se conoce desde finales del Siglo XIX. Ya lo recogía Johnson, en su obra de 1919. Unos primeros análisis descriptivos serios los hace D. Inman, a caballo entre los años 60 y 70. Pero son M. Longuet - Higgins y Anthony Bowen los auténticos padres de la teoría científica de este transporte. Las cuantificaciones Q_α las expresan mediante fórmulas analíticas. Los modelos numéricos los desarrolla J. Bailard, en los años 80.

R. Iribarren, en las décadas de los 50 y 60, enriqueció sus conocimientos, sobre el comportamiento físico de las playas, en gran medida, a partir de observaciones in situ. En relación con la hidrodinámica del oleaje, su "Número" no ha perdido actualidad. El "Número de Dean" es simplemente una ligera modificación, en la forma, del "Número de Iribarren". Pero interesa otro hecho de este investigador: En 1950, intuyó la sobre-elevación del agua del mar, por la transformación de la energía cinética en energía pontencial, aunque fuera del área del oleaje rompiente. Aquí, se sitúa la semilla del otro tipo de transporte sólido en playas, del transporte Q_s.

P. Suárez Bores, discípulo del anterior, posteriormente se da cuenta de la presencia e importancia de una sobre-elevación física, sobre el estrán, tras romper la ola. Y a partir de este momento, desarrolla los modelos físicos de los transportes de sólidos, por gradientes de sobre-elevación.

La comprensión de la coexistencia de transportes Q_α y Q_s , en ambientes de playas, y el estudio de las condiciones de equilibrio, de esta coexistencia, cuando $Q_\alpha + Q_s = 0$, hacen que, en 1978, P. Suárez Bores llegue a una clasificación genética morfológica, de estos ambientes sedimentarios. De esta clasificación, se tiene presente la planta y el alzado del depósito de áridos, en relación con la hidrodinámica del oleaje dominante.

La versatilidad constituye una de las características de P. Suárez Bores. Como prueba, están sus aportaciones, en Formas Costeras (1980), a la Geomorfología del litoral. En este sentido, destaca su modelo de la "Cuña de Erosión", en acantilados, que lleva implícito la formación de terrazas marinas.

Otra clasificación genética de las playas es la morfodinámica de L. Wright y A. Short. Estos investigadores culminan su formulación en la primera mitad de los años 80, exactamente en 1983. La clasificación se sustenta en la hidrodinámica del oleaje y en las formas del depósito sedimentario, a causa de la hidrodinámica.

La clasificación climática de las playas naturales, de Martínez (1988), quizás pueda representar una pequeña aportación, a esta breve Historia de los Procesos Físicos en Playas. En sus esbozos, se encuentra recogida en una de las publicaciones de la American Society of Civil Coastal Engineers, en 1989. La clasificación:

- Se diseña después de sistemáticos seguimientos de las playas canarias.

- Se basa en la localización geográfica del ambiente sedimentario, en las orientaciones y repercusiones energéticas de los oleajes dominantes, reinantes y ocasionales, y en los balances sedimentarios, como respuestas a lo anterior.

- Y ha sido aplicada, con éxito, en los ambientes sedimentarios del Caribe.

Las clasificaciones genéticas de playas, ya sea la de Suárez Bores, o la de Wright y Short, contemplan el estudio de los perfiles. Pero también son abordados por otros autores,

- bien desde la perspectiva de los movimientos eustáticos,
- o bien según el oleaje.

En relación con los movimientos eustáticos, extrapolables a los cambios del nivel del mar, por los temporales, P. Bruun, en 1962, formuló su "Regla", que tomó auge entre los años 60 y 80. Sin embargo, la más valiosa aportación de Bruun se relaciona con la dinámica, en las desembocaduras de rías.

Desde los años 60, Dean y otros investigadores, todos ellos del Instituto Tecnológico de Massachusetts, contribuyen al conocimiento de los Procesos Físicos en Playas, con análisis de los perfiles, en función de los oleajes. Sus modelos son muy interesantes.

Asimismo, no se deben obviar los estudios de T. Sunamura, sobre los cambios en los perfiles. De este autor, se puede obtener, además, el concepto físico de playa (Sunamura, 1984), sin olvidar las aportaciones de Bascom (1951) y Komar (1976).

Como aspecto novedoso, esta publicación aporta un primer tratamiento de los perfiles de equilibrio de los depósitos de áridos, en plataformas litorales someras, que actúan a modo de "contenciones" en las playas limítrofes, de aguas arriba.

De igual manera que hay trabajos específicos sobre perfiles de playas, existen otros, que estudian las plantas de estos depósitos. Aquí se puede citar a. Sánchez Arcilla. Este investigador, por otro lado, considera otras características de las playas, en dependencia con la hidrodinámica del oleaje.

Dentro de esta Historia, se tiene que incluir a los clásicos proyectistas de obras marítimas en playas. Entre estos, los españoles ocupan un lugar destacado. Se deben mencionar, sobre todo, a R. Iribarren y P. Suárez Bores.

La primera playa totalmente artificial del mundo, con un perfil "calculado", corresponde a la de Las Teresitas, en la Isla de Tenerife. La obra fue proyectada en 1964, por Iribarren, en colaboración con Suárez Bores.

La Playa de Puerto Rico, en la Isla de Gran Canaria, se ajusta a un proyecto del Profesor Suárez Bores, de 1968. En esta, el ambiente sedimentario se encuentra completamente calculado, tanto en planta como en perfil.

La construcción de obras marítimas en playas, y en el litoral en general, conlleva al estudio de impactos físicos, que no tienen que ser, necesariamente, negativos.

A nivel nacional, e incluso internacional, un primer análisis sistemático de impactos físicos, a causa de las obras marítimas, se deben a F. Enríquez y a J.M. Berenguer (1986).

2. HILOS CONDUCTORES. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LOS TÓPICOS A DESARROLLAR.

En esta obra, se desarrolla una parte de los contenidos concernientes al estudio de la ordenación, planificación y gestión del litoral, concretamente en uno de sus ambientes más significativos: las playas, que no deben separarse de los de sus dunas litorales, en el caso de que existan.

En todo buen artículo periodístico, se ha de responder a seis preguntas importantes:

- qué,
- quién,
- cómo,
- cuándo,
- dónde, y
- por qué.

De igual manera, en el estudio de los procesos y efectos físicos en playas, el observador (el periodista de la Naturaleza) debe responder a las cuestiones:

- qué ocurre,
- dónde,
- cuándo,
- cómo, y
- por qué.

Pero para llevar a cabo esta última secuencia, se precisa de un hilo conductor.

El hilo conductor, en el desarrollo de unos tópicos sobre playas, se puede sustentar en el concepto de "ecosistemas litorales", analizado desde "arriba hacia abajo". Así, en la evolución de los ambientes playeros, del territorio litoral, no se pierde la perspectiva de tratamiento unificado, o de interdependencias, en el conjunto de causas, procesos y efectos:

- tanto del medio físico, o geológico,
- como del contenido biológico.

Se comienza por separar, aunque artificialmente:

- el biotopo,
- de la biocenosis.

El biotopo se estudia de acuerdo con las causas, procesos y efectos:

- de la erosión,
- del transporte, y
- del depósito sedimentario.

Estas causas, procesos y efectos definen la estructura conductora, para el estudio físico de la totalidad del litoral.

Conforme con los criterios de Sánchez Arcilla (1985):

- La erosión da lugar a un litoral de acantilados. Aquí, se deben incluir otros ambientes de formas erosivas, más o menos relacionadas con los acantilados.

- Y las características del transporte longitudinal, próximo a la orilla, determinan litorales libres o impedidos.

Estos litorales engloban:

- tanto a las playas (depósitos de arenas, o de áridos más gruesos),

- como otros ambientes, independientemente hayan, o no, depósitos sedimentarios: marismas, manglares, formaciones arrecifales, estuarios, deltas, etc.

Respecto al caso concreto de las playas, y para Suárez Bores (1986), se establecen sub-estructuras conductoras, conforme con sus clasificaciones genéticas.

En principio, se consideran tres tipos de clasificaciones, que tienen estrechas dependencias entre sí. Estas son las clasificaciones:

- morfológicas,
- morfodinámicas, y
- climáticas.

La clasificación morfológica más representativa quizás sea la de Suárez Bores (1978).

Wright y Short (1979-1985) desarrollaron la clasificación morfodinámica, que normalmente se usa.

Una propuesta de clasificación climática fue dada por Martínez (1990), a partir de variables geográficas y físicas, y del seguimiento de una serie de playas, del entorno canario.

Desde toda esta perspectiva, se pueden describir secuencias referentes al estudio de las playas, con retro-alimentaciones y conexiones colaterales entre ellas.

Las conexiones colaterales se pueden dar:

- en un sentido determinado,
- o en un doble sentido.

Las secuencias se configuran según:

- Los tópicos que se necesitan considerar, para llegar a clasificaciones genéticas de las playas.

- Y las propias clasificaciones genéticas.

En el estudio físico de las playas, el esquema para arrancar, presenta dos secuencias troncales:

- Una para el diseño de proyectos de playas artificiales. Se estaría, en pleno, ante una ingeniería costera.

- La otra, para el estudio de la "salud sedimentaria" de las playas naturales.

Los estadios troncales iniciales, de la segunda secuencia, la de mayor interés, en este tipo de contenidos, están referidos a las variables y condicionantes, que conducen a las clasificaciones genéticas.

Con estas clasificaciones, alimentadas con el flujo informativo, procedente de la primera secuencia, se alcanzan los estadios de:

- Evaluación de impactos físicos, por intervenciones, ya realizadas, o por las acciones previstas, en un proyecto. o proyectos.

- Y como se pueden recuperar playas naturales.

Desde estos estudios, y mediante modelajes de causas, procesos y efectos sedimentarios en playas, se llega a la gestión del litoral, aunque respecto a un marco geográfico restringido.

Todo el esquema desemboca en un estudio de ecosistemas litorales, que, obviamente, engloba mucha más cosas que el estudio físico de las playas. En definitiva, se hace un estudio de "abajo hacia arriba".

Muchas veces, en estos contenidos:

- tendentes a identificar, conocer y comprender problemas, en este caso, problemas sedimentarios en playas,

- y a buscar soluciones óptimas,

se precisa recorrer el doble camino de:

- arriba hacia abajo, y
- de abajo hacia arriba.

En general, la estructura conductora presentada está sometida a la influencia de fenómenos, cuyos estudios se reparten entre:

- la Oceanología física, y
- la Morfodinámica.

Los contenidos más importantes y necesarios, para un gestor del litoral, de estos dos aspectos disciplinarios, permiten discusiones adecuadas, que conllevan:

- identificaciones,
- descripciones,
- deducciones,
- formulaciones de hipótesis,
- análisis,
- verificaciones, e
- interpretaciones,

en relación con la física de las playas y dunas litorales.

Estas discusiones sirven de base para cualquier tipo de estudio, ya sea científico, urbanístico o de desarrollo, orientado al manejo del litoral.

******* *******
****

El hilo conductor de *las obras marítimas de ingeniería* y de *los procesos y efectos físicos en playas* se deben apoyar en unos contenidos, que sean apropiados para establecer una guía procedimental, lógica y ordenada, tendente:

a). Hacia la identificación y definición de los problemas. Se precisa buscar las causas y prever sus efectos futuros.

b). Así como el análisis completo de las alternativas de solución.

En palabras de Enriquez y Berenguer (1986), no es infrecuente que una equivocación, en la fase de definición, lleve a adoptar medidas contraproducentes o, cuanto menos, inútiles.

Los procesos erosivos de las playas en particular, y de la línea costera en general, pueden tener, a veces, causas que trascienden del entorno litoral. Si persisten esas causas, la corrección de estos procesos, con medidas específicas de ingeniería costera, no darán la solución completa y permanente.

La ordenación, planificación y manejo de las playas, en lo relativo a su conservación y/o mejora física, plantea una serie de cuestiones, cuya sucesión ordenada muestra el correcto camino a seguir (la estructura conductora. Estas cuestiones se pueden formular de la siguiente manera, también conforme con Enríquez y Berenguer (1986):

1. Detección del problema: ¿Cómo se encuentra actualmente la costa, en relación con su estabilidad física? ¿Cómo repercutiría esa estabilidad en su ecosistema?.

2. Definición del problema: ¿De qué depende la estabilidad de un litoral? ¿Cuál sería la evolución previsible de éste y cuales son sus causas?.

   En el caso de un retroceso de la orilla de una playa, las causas se podrían buscar:

   - en procesos de erosión por el oleaje,
   - en una disminución de los aportes sedimentarios, y/o
   - en la elevación del nivel del mar, a escala del entorno geográfico próximo.

   El nivel medio del mar cambia por movimientos eustáticos y/o epirogénicos. Una elevación de este nivel supone:

   - un movimiento eustático positivo, y/o
   - un movimiento epirogénico negativo.

   En ambos casos, habría una transgresión marina.

3. Asunción del problema: ¿Es necesario actuar para su defensa?.

4. Estudio del problema y elevación de alternativas: ¿Cómo realizar la defensa?.

5. Estudio medio-ambiental (tiene carácter de retro-alimentación): ¿Cúal va ser el impacto de la obra?.

Las fases de:

- detección del problema,
- definición del problema, y
- asunción del problema,

comprenden baterías de preguntas, que representan a descriptores de vulnerabilidad del sistema físico. Con estos descriptores, se definirá un indicador al respecto.

En cambio, las etapas:

- de estudio del problema y elevación de alternativas, y
- de estudio medio-ambiental,

contienen ya preguntas identificables con descriptores de sustentabilidad. Entran en juego proyectos de desarrollo, susceptibles de provocar alteraciones en los factores y procesos ambientales. Con estos descriptores, se estimarán indicadores de sustentabilidad.

Para ilustrar la materialización de estas cuestiones, puede servir el ejemplo del límite septentrional de la Laguna de la Restinga, en la Isla venezolana de Margarita.

Este margen:

1. Geomorfológicamente, se clasifica como una restinga, que separa la Laguna del mar abierto.

2. Tiene:

   - una longitud considerable: 23.5 kilómetros,
   - y una amplitud reducida: de más de 300 a menos de 100 metros.

3. Corresponde a una barra continua (sin bocanas), cuyos dos extremos se apoyan en el relieve circundante. La comunicación directa, de la Laguna con el mar, se sitúa en el límite meridional.

4. Es, en realidad, la barra más externa y reciente del ambiente sedimentario de la Ensenada de La Guardia. Se puede cartografiar, dentro de la Laguna, tres paleo-barras sumergidas. El conjunto describe la evolución posicional de la orilla septentrional, a lo largo del tiempo, en un desplazamiento hacia el Norte.

5. Emergió por descensos del nivel del mar. Tales descensos quizás se identifiquen con movimientos eustáticos negativos, en relación con las glaciaciones del Cuartenario.

6. Define a una playa arenosa:

   - Abierta a los oleajes del NW, tanto de los temporales relacionados con huracanes potenciales o abortados, como con las perturbaciones extra-tropicales.

   - Y en la que se deja sentir, además, aunque algo atenuado, el oleaje del NE.

   Las dos circunstancias oceanológicas precedentes condicionan las ganancias y pérdidas sedimentarias:

   - La acreción tendría lugar en el intervalo de tiempo correspondiente entre la ausencia del oleaje del NW y la aparición del oleaje del NE (del Alisio). Es decir, en torno al invierno y a la primavera.

   - Dentro del ciclo sedimentario corto, la erosión ocurriría alrededor del resto del año, pero sobre todo, cuando aparecieran los temporales del NW.

7. En la actualidad, la Playa se encuentra sometida:

   - Seguramente a una transgresión marina.

   - Y a los embates de los temporales ocasionales, normalmente estacionales. Algunos alcanzan características de inusitados.

   La invasión del mar, en el caso de verificarse:

   - Estaría determinada por un movimiento eustático positivo local o regional, en dependencia, muy probablemente, con el periodo interglacial reinante.

- E implicaría un proceso de retroceso, o erosión, en la orilla externa del depósito playero.

En este escenario geográfico, se establecen fácilmente las correspondencias entre:

- los pasos a seguir, y
- procesos oceanológicos, sedimentarios y morfodinámicos propios,

dentro de un marco de toma de decisiones, tendentes a la conservación y protección del litoral.

a). La detección del problema se centra en los siguientes aspectos:

1. Retroceso de la orilla externa de la Playa.

2. Potencial destrucción sectorial de la restinga, y, desde aquí, erosión lateral de la formación sedimentaria.

3. Como consecuencia de lo anterior, desaparición del ecosistema lagunar o, al menos, una perturbación importante de éste, a corto o medio plazo. En la Laguna, se impondría, aparte de la suya propia, una nueva circulación del agua:

   - por la bocana meridional inicial,
   - y por otras, labradas por la erosión, cada vez más amplias, del límite septentrional.

   Esta circulación sería la que determinaría que se perdiese el carácter de laguna, en el ambiente en cuestión.

b). La definición del problema conllevaría:

1. A describir:

   - El proceso regresivo de la orilla externa de la Playa.

   - La probabilidad de formación de bocanas septentrionales.

   - Y el avance de las probables erosiones laterales, a partir de las bocanas potenciales, que representarán zonas de debilidad sedimentaria.

2. Y a determinar las causas de estos procesos:

   - El presumible movimiento eustático positivo local o regional, sin descartar movimientos epirogénicos.

   - La energía del oleaje de los temporales.

   - Y las actuaciones antrópicas, en su provincia morfodinámica.

c). La asunción del problema se infiere ante la posibilidad, próxima en el tiempo, de que:

1. Se destruya un paraje:

   - de alta cualificación paisajística,
   - de uso y disfrute de los lugareños,
   - y de enormes reservas turísticas.

2. Y se perturbe, o desaparezca, un ecosistema lagunar, de interés biológico, que da identidad a una parte importante de la Isla.

d). Y para la toma de decisiones concretas, respecto a la protección física del depósito sedimentario de la Playa de la Restinga, que incidirá, a su vez, en la preservación del ecosistema lagunar, en su aspecto de biocenosis, se requerirá conocer y comprender las siguientes circunstancias, muchas de éstas ya abordadas en los epígrafes precedentes:

1. Identificación y descripción de las tendencias morfodinámicas de la Playa.

2. Cuantificación de las pautas a las que se ajusta el actual movimiento eustático positivo local, o regional.

3. Análisis de la estabilidad tectónica del litoral.

4. Predicción de la evolución, en el espacio y en el tiempo, de la orilla externa de la Playa, en función:

   - de los movimientos eustáticos, y/o epirogénicos,
   - y del comportamiento morfodinámico del depósito sedimentario.

5. Caracterización de los temporales inusitados, que podrían destruir, sectorialmente, la Restinga.

6. Y probabilidad de presentación de los temporales inusitados caracterizados.

******* *******
****

En estrecha dependencia con las playas arenosas, están las dunas litorales. Esto aconseja que un desarrollo de contenidos, sobre *procesos físicos en playas* sea complementado, casi inexcusablemente, por otro, donde se estudie las *formaciones dunares del litoral.*

El hilo conductor, de estos tópicos complementarios, debe partir de una discusión de las causas que determinan la formación de dunas litorales, a saber:

- Existencia de playas arenosas, con balances sedimentarios y superficies intermareales-secas adecuadas, para suponer fuentes de aportes de arenas, en los transportes y depósitos eólicos.

- Características apropiadas de las arenas de esas playas, para soportar un transporte eólico. Esto se expresa en términos de susceptibilidades, mediante parámetros que permiten expresiones analíticas de cuantificación.

- Condiciones topográficas, que faciliten los procesos de transporte y depósito de las arenas, hacia tierra adentro, desde las playas. Las barreras físicas supondrían serios inconvenientes al desarrollo de dunas.

- Y que haya un agente transportador capacitado: Unos vientos dominantes, reinantes u ocasionales, con unos parámetros físicos (direcciones y velocidades) compatibles con el transporte y depósito de arenas, en las proximidades de las playas fuentes. Lo ideal sería disponer de ejemplos de mapas eólicos, o levantarlos, para casos concretos, con apoyos multidisciplinares.

Si se dan las circunstancias enunciadas, de forma óptima, se pueden formar dunas litorales, en una doble modalidad alternativa:

- como cordones litorales, o
- como campos.

Las discusiones y toma de decisiones, en el manejo de las formaciones dunares, estarán bastante condicionadas, en función de que se dé una u otra de estas modalidades.

Sea cual fuese la modalidad de como se presentan las dunas, se tiene que llegar a la caracterización de las mismas, básicamente en lo referente a sus procesos y efectos, cuyas descripciones deben incluir formulaciones analíticas cuantitativas o, por lo menos, semi-cuantitativas o cualitativas.

La caracterización tiene como soporte los estudios:

- De las geometrías, con sus interpretaciones, tanto de los depósitos de arena como de los espacios entre estos, sobre todo de aquellos que impliquen inferencias en los procesos de la dinámica sedimentaria.

- De las estructuras sedimentarias.

- De las texturas, principalmente de las granulométricas y de las morfológicas.

- De la mineralogía y litología de las arenas.

- De mosaicos de fotografías aéreas.

- De naturaleza estadística.

- Y de los aspectos fractales, de las superficies de los granos de arena.

Con el conjunto de las características, de las formaciones dunares, se levantarán mapas de procesos y efectos del transporte eólico, en una secuencia de menor a mayor abstracción, desde mapas descriptivos a prescriptivos. De esta manera:

- Se pueden formular historias morfodinámicas de las formaciones dunares.

- Y lo que es más esencial, identificar, describir y evaluar cuantitativamente las relaciones de las dunas con sus playas solidarias.

Tiene mucho interés captar el papel que juega las dunas en los litorales. Normalmente son las despensas sedimentarias de sus playas asociadas. Esto acontece cuando las playas son afectadas:

- por fuertes temporales, más o menos habituales, o
- por los temporales inusitados.

Pero estas relaciones adquieren una mayor relevancia , si los depósitos eólicos amortiguan procesos continuos de retroceso, hacia tierra, de la orilla de una playa.

Cuando los contenidos consiguen la comprensión de los transportes y depósitos eólicos de arenas, en un litoral, y sus relaciones con sus playas solidarias, la información y formación se debe orientar en el sentido que permita construir modelos físicos. Dentro de estos modelos, se encontrarán los diagramas de flujo sedimentario.

De los modelos físicos, se pueden pasar:

- a la modelización numérica,
- y/o a la simulación informática.

De los distintos tipos de modelos y de la simulación informática, e incluso de las etapas precedentes, se pueden identificar, describir, clasificar, denominar, evaluar e interpretar:

- descriptores físicos de vulnerabilidad, y
- descriptores físicos de sustentabilidad,

según se considere, respectivamente:

- Las variables, condicionantes y dependencias de las causas, procesos y efectos de estos ambientes sedimentarios, sin ningún tipo de intervención antrópica.

- O las respuestas (impactos positivos o negativos) de estos procesos y efectos, y/o de sus causas, ante determinados proyectos de desarrollo, o usos ya existentes.

A partir de estos tipos de descriptores, se estiman sus indicadores. Los valores numéricos que dan, hay que tomarlos en términos relativos, y son válidos, en principio:

- para territorios específicos,
- y proyectos, o usos, concretos.

Muy ilustrativo, y básicamente conveniente, es contrastar esta metodología "estándar", para el estudio de dunas litorales, según los contenidos concatenados, por el hilo conductor que se describe, en diferentes escenarios litorales.

Después de todo lo anterior, se está en condiciones de tener unos primeros conocimientos, para hacer una gestión "física" de las formaciones dunares, en determinados litorales.

CAPÍTULO 2

EL CLIMA MARÍTIMO INCIDENTE, A MODO DE HERRAMIENTA BÁSICA EN EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS FÍSICOS EN PLAYAS.

ESQUEMA:

1. Concepto de clima marítimo.
2. Tipos de oleaje.
3. Los datos "operativos" de un registro de oleajes, a profundidad indefinida.
4. Cálculos de alturas y longitudes de onda de un oleaje, en rompientes.
5. Conceptos de "aguas arriba" y de "aguas abajo".

1. CONCEPTO DE CLIMA MARÍTIMO.

De acuerdo con Suárez Bores (1978), la dinámica sedimentaria de las playas, en un número considerable de circunstancias, depende, en mucho, del oleaje incidente. Por este motivo, unos contenidos sobre la física de las playas, se debe iniciar con los tópicos imprescindibles de clima marítimo, que hagan comprensibles los procesos, y sus efectos, en estos ambientes sedimentarios.

Se entiende por clima marítimo las características y probabilidades de presentación de los diferentes oleajes, que inciden en un litoral.

El ROM 0.3-91 (MOPT, 1992) define al clima marítimo como la caracterización del oleaje en periodos largos de tiempo, o descripción estadística de la variación, en el dominio del tiempo de los Estados del Mar, en un emplazamiento dado.

De acuerdo también con el ROM 0.3-91, el oleaje se conceptúa como las alteraciones producidas en la superficie del viento sobre una superficie o área marítima (fetch), durante un cierto periodo de tiempo, siempre y cuando dicho fenómeno dé como resultado una gama de ondas aleatorias, de forma más o menos irregular, y con diversas direcciones de propagación, con periodos entre 1 y 30 segundos.

El clima marítimo puede configurarse a partir de la estadística unidimensional y bidimensional de los parámetros geométricos-estadísticos y espectrales representativos del Estado del Mar, en la zona considerada.

Las observaciones de oleajes se pueden obtener:

- Desde barcos en ruta. Sirva de ejemplo los bancos de datos de la Oceanographic Atlas of the North Atlantic Ocean, de la British Meteorological Office.
- Con boyas, sean direccionales o no. Las primeras, a parte de alturas y periodos de las olas, dan las direcciones de estas. Con bancos de datos, de acuerdo con este tipo de observaciones, se ha confeccionado, por ejemplo, el Atlas de Clima Marítimo en el Litoral Español (ROM 03-91).
- O con modelos numéricos, que arrancan de estimaciones o predicciones de situaciones de vientos, sobre superficies marinas afectadas, de unas determinadas dimensiones.

Para una correcta discusión de las observaciones visuales de barcos en ruta, conviene tener presente las siguientes consideraciones.

1. En muchas ocasiones, hay una falta de homogeneidad temporal y espacial de los datos. Lógicamente existen más registros a lo largo de las rutas comerciales y en las épocas de climatología favorable.

2. La precisión de los datos deja mucho que desear, dado que no son medidas objetivas, registradas por sensores, sino estimaciones realizadas por personas. Más aún, la altura significante es un dato estadístico, que debería estimarse mediante la observación del oleaje durante varios minutos, para que participe un conjunto suficiente de olas individuales, lo que, seguramente, no se hace en la mayoría de los casos.

   Se ha comprobado (Losada, 1995) que las medidas del oleaje visual suelen ser exageradas, tanto más cuando mayor sea la altura de la ola.

   Por otro lado, en condiciones extremas, los barcos no navegan, y, por lo tanto, no toman datos. Esto determina que la altura de ola significante máxima deba ser considerada como una variable sesgada.

3. Los datos recogidos, para un litoral determinado, pertenecen a una zona mucho mayor, por lo que los efectos locales (limitación por fetch, régimen de vientos y otros) no están reflejados. Por ello, se hace necesario el estudio individualizado de cada una de las direcciones posibles, para validar, o no, los datos.

Una boya de medida consiste en una estación marítima de captación y emisión de datos de oleaje. Los datos de las boyas, de oleajes a profundidades indefinidas, son mucho más fiables que los obtenidos por observaciones visuales. Pero para ello, se requiere que las boyas no se encuentren ubicadas en las proximidades de la costa. De esas condiciones, las medidas no estarían afectadas por las condiciones de contorno.

La transformación de vientos y longitud de fetch en altura de ola significante se realiza a través del Método JONSWAP de generación (Hasselman, 1973). Este método es profusamente utilizado, y está contrastado por distintos autores.

Se entiende por *fetch*, respecto a un punto de observación, o previsión, a la superficie de agua, donde, en un cierto instante, puede actuar el viento capaz de generar un oleaje, del que alguna de sus componentes llega al punto de observación. El fetch se determina, generalmente, por el parámetro "longitud del fetch". Este se define, de forma simplificada, como la longitud del área de generación, en la dirección media del viento generador.

Una *serie temporal* de datos corresponde a un conjunto de observaciones, generadas secuencialmente en el tiempo. Una serie temporal de datos de oleaje será significativa cuando recoja observaciones consecutivas de más de siete años. En efecto: El oleaje está en estrecha dependencia con la Meteorología, que marcará la amplitud significativa de estas series, y la Meteorología se encuentra condicionada, en mucho, con las manchas solares. La actividad de estas manchas tiene ciclos en torno a los 11 años. Por ello, las series temporales de oleaje, para que sean significativas, deben recopilar, como mínimo, datos de 7 años consecutivos. De esta forma, se registra la influencia de las manchas solares, tanto en sus fases de reactivación como de atenuación.

Con series de datos más cortas, de menos de 7 años, pueden quedar reflejados sólo los efectos de una reactivación, o de una atenuación, de las manchas solares. Ello traería consigo una interpretación distorsionada, estadísticamente, de los procesos sedimentarios playeros.

2. TIPOS DE OLEAJE.

Los oleajes se pueden clasificar en:

- dominantes,
- reinantes.

- ocasionales, e
- inusitados.

Se entiende por oleaje *dominante* el que se presenta mayoritariamente, según criterios estadísticos, en un determinado escenario geográfico. El oleaje *reinante* tiene una incidencia bastante frecuente, sin llegar a ser relativamente mayoritario. El *ocasional* se observa en contadas veces, durante un número reducido de series, de unos cuantos días, a lo largo de un año promedio. Los temporales se llaman *inusitados* cuando acontecen con "periocidades" de varios años, o cuando únicamente se tiene conocimiento "histórico" de ellos.

Estos oleajes se subclasifican, a su vez, en dos tipos:

- Oleajes "sea".
- Oleajes "swell".

El oleaje tipo *sea*, llamado también *mar de viento*, se forma y desarrolla en la superficie marítima, bajo la acción directa y continua del viento. Se generan olas elementales de altura, periodo, fase y dirección de propagación aleatorias e independientes, cuya interfase da lugar a un aspecto caótico de la superficie líquida. Este oleaje presenta, normalmente, oscilaciones muy apretadas, con periodos y longitudes de onda pequeños, aunque en una amplia gama de frecuencias.

Se tiene un oleaje tipo *swell*, o *mar de fondo*, cuando las olas abandonan el área de generación, y se propaga a través de superficies marítimas, sin estar sometido a la acción significativa del viento. Se atenúa progresivamente, hasta su completa extinción. Este oleaje presenta oscilaciones menos apretadas que el de tipo "sea", con periodos y longitudes de onda en una gama estrecha de frecuencias. Da lugar, en general, a un aspecto ordenado y regular de la superficie del mar.

Estos oleajes permiten identificar a los diferentes *estados del mar*. Un Estado del Mar corresponde a la situación temporal / espacial en la cual puede suponerse el fenómeno del oleaje real como estable energética y estadísticamente. Representa, por lo tanto, cada una de las situaciones en las que se puede separar la continua evolución del oleaje. En los programas de clima marítimo, cada uno de estos estados, el oleaje real puede ser tratado como un proceso estacionario en el tiempo, homogéneo en el espacio, y ergónico.

En el litoral, las olas pueden sufrir, entre otros, los procesos de:

- difracción, y
- refracción.

En Oceanología, la *difracción* consiste en el desvío de la dirección de aproximación de las olas, hacia sectores más abrigados. Estos sectores más abrigados se pueden relacionar, por ejemplo, con barras emergentes, o diques exentos, que determinan zonas de sombra energética.

La *refracción* describe el desvío de la dirección de las olas, y/o cambios en sus alturas. En el ámbito litoral, las crestas tienden a ponerse paralelas a la orilla. Este proceso tiene lugar cuando una determinada topografía marina, o la presencia de corrientes u otros fenómenos, por ejemplo, el viento, altera la velocidad y/o dirección de propagación, de los puntos de un frente de ondas, respecto a otros. Aquí, los rozamientos sobre el fondo juegan un papel fundamental.

Con mucha frecuencia, estos dos procesos suelen combinarse, y se deben tener muy presente, a la hora de interpretar los procesos u efectos físicos sedimentarios, en estos dominios territoriales.

Los oleajes se pueden representar en dos modalidades de mapas:

- mapas predictivos, y
- mapas analíticos.

Estos últimos se confeccionan a posteriori, conforme con las observaciones reales acontecidas.

En los mapas de oleaje, se dibujan curvas (curvas de estados del mar), que corresponden a unas mismas alturas significantes, a lo largo del tiempo, en una serie de puntos determinados. Por otra parte, se indican las direcciones "swell" y "sea".

3. LOS DATOS "OPERATIVOS" DE UN REGISTRO DE OLEAJES, A PROFUNDIDAD INDEFINIDA.

Después del oportuno tratamiento físico y estadístico (básicamente un análisis espectral) de las medidas, obtenidas por boyas, se trabaja con bases de datos, que contienen, como mínimo, la siguiente información:

1. Identificador.
2. Fecha.
3. hora.
4. Altura significante.
5. Altura máxima.
6. Altura media.
7. Varianza.
8. Periodo medio.
9. Periodo de altura máxima.
10. Periodo significante.
11 Periodo pico.
12. Longitud media de grupo.
13. Longitud media de racha.
14. Número de olas.
15. Periodo pico.
16. Frecuencia de muestreo.
17. Control de calidad.

La *altura significante* corresponde a un parámetro geométrico-estadístico representativo del oleaje. Se calcula a partir de discretizar un registro de oleaje en olas individuales, según el Método de Paso por Cero. Se define como la media aritmética de las alturas de ola, del tercio de olas más altas del registro.

El *periodo medio* representa a la media aritmética de los periodos de todas las olas individuales.

El *periodo significante* se define como la media aritmética de los periodos asociados al tercio de olas más altas del registro.

El *periodo pico* es el periodo en el que la densidad espectral alcanza su máximo valor (pico).

4. CÁLCULOS DE ALTURAS Y LONGITUDES DE ONDA DE UN OLEAJE, EN ROMPIENTES.

En el estudio de los procesos y efectos sedimentarios del litoral, a veces resulta indispensable estimar energías cinéticas del oleaje rompiente, y la evolución de estas en el tiempo y en el espacio. Y en estas estimaciones, intervienen alturas y longitudes de onda, en las zonas de rompientes, como se observa fácilmente, si se extrapola la expresión analítica de la energía de las olas, a profundidad indefinida, de Camfield y Seelig (1984).

Estas energías, en las zonas de rompientes, se ajustarían a la formulación:

$$E_b = \frac{\phi g H_b^2 L_b}{8}$$

donde:

E_b = energía de las olas en rompientes,

ϕ = densidad del agua,

g = aceleración de la gravedad,

H_b = altura de la ola en rompientes,

L_b = longitud de la ola en rompientes.

La altura en rompiente se calcula mediante la expresión de Komar (1972):

$$H_b = k\, g^{1/5} \left(T\, H_o^2\right)^{2/5}$$

donde:

H_o = altura de la ola a profundidad indefinida.

T = periodo de la ola

k = Constante de Komar = 0.39

De una manera operativa, H_b se calcula según la expresión:

$$\ln H_b = \ln k + 1/5 \ln g + 2/5 \ln [\, T\, H_o^{\,2}\,] = M$$

Y de aquí que:

$$\ln H_b = M \Rightarrow H_b = e^M$$

Luego:

$$H_b = M \text{ inv ln}$$

En la estimación de L_b, se opera como sigue:

1. Se calcula la longitud de onda, a profundidad indefinida, L_o, mediante la expresión:

$$L_o = gT^2/2\pi$$

donde:

T = periodo (normalmente se trabaja con un periodo medio),
π = número pi (3.1416).

2. Se considera la altura y la longitud de onda a profundidad indefinida. Sea el ejemplo de un oleaje de 3 metros de altura, con una longitud de onda de 100 metros.

3. Se inicia el proceso de la estimación. Para ello, se prueba con una profundidad "d" mayor que el valor de la altura de ola. Por ejemplo, 4 metros, para este caso demostrativo.

4. Se halla el valor d/L_o . En el ejemplo, se obtiene $4/100 = 0.04$.

5. En la Tabla de Wiegel (C - 1, de Shore Protection Manual, Vol II, de 1984), se halla el cociente d/L para el valor determinado anteriormente. Este cociente está en la primera columna, bajo las siglas d/L_o. En el ejemplo, este valor es de 0.08329.

6. Se calcula el valor de L, a partir del valor anterior, para la profundidad de prueba. En el ejemplo:

$$L = d/0.08329 = 4/0.08329 = 48 \text{ metros.}$$

Esta "L" corresponderá a L^* (ver más adelante).

En la tabla referida, y en la fila en cuestión, se lee el valor de H/H'_o . En este caso, se lee 1.064.

En esta relación:

H = altura para la profundidad de prueba,
H'_o = altura observada

De aquí resulta que, en el ejemplo:

$$H/H'_o = H/3 = 1.064 \Rightarrow H = 3\ [1.064] = 3.192 \cong 3.2 \text{ metros.}$$

8. Se comprueba que el valor obtenido es el correcto o no, mediante el criterio de Munk (1949). Tal criterio formula que:

$$H_b/d = 0.78 \Rightarrow d = H_b/0.78$$

En la comprobación, se divide el valor obtenido de H por 0.78. Para el ejemplo, se estima un valor de "d" (profundidad de rotura) de $4.10 \cong 4$ metros.

9. Si no hay coincidencia con la profundidad tomada como premisa de partida, se vuelve a probar con la nueva profundidad obtenida (método iterativo).

Como criterio general, si

$$H_b/\ d_b \text{ (de prueba)}$$

sale mayor que 0.78, hay que probar con una profundidad mayor, y viceversa.

10. Se calcula la longitud de onda, en la zona de rompiente, con la expresión de la Teoría Lineal:

$$L_b = L_o\ Th\ [\ 2\pi d_b / L^*\ ]$$

donde:

Th = tangente hiperbólica.
L_o = longitud de onda, a profundidad indefinida.
L^* = valor de alimentación, para estimar L_h (en este caso, para la zona de rompiente, L_b). El valor inicial se obtuvo en el apartado 5, con el empleo de la Tabla de Wiegel.
π = número pi (3.1416).
d_b = profundidad en la zona de rotura, ya obtenida.

11. Si el valor de L_b no coincide con el de L^*, cosa que normalmente ocurre, en un primer intento, se recalcula L_b. Para ello, L^* toma el valor calculado en el caso precedente, y así sucesivamente, hasta que L_b y L^* sean iguales (nuevamente se utiliza un método iterativo). Se recomienda una aproximación centesimal.

La metodología descrita se sustenta en la Teoría Lineal, y estaría de acuerdo con autores tales como Miche (1944), Horikasa (1966), Collins (1969) y Komar (1972). No obstante, según algunos otros autores, se introduciría un cierto error (véase, por ejemplo, Sánchez Arcilla, 1984).

El error se elimina con un calibrado empírico. Realmente, sería más correcto emplear las hipótesis de la Teoría de la Onda Solitaria, pero entonces el problema se haría mucho más complejo, y se perdería operatividad.

5. CONCEPTOS DE "AGUAS ARRIBA" Y DE "AGUAS ABAJO".

En relación con los oleajes dominantes, las ubicaciones de puntos geográficos, en un litoral, se dirán que estarán "aguas arriba", o "aguas abajo", respecto a un punto determinado. Este sentido se establece conforme con el vector longitudinal (paralelo a la orilla), de la descomposición vectorial, del oleaje incidente.

Se encontrarán aguas arriba aquellas ubicaciones, a partir del punto de referencia, que estén en el sentido contrario al del vector longitudinal. Las ubicaciones se hallarán aguas abajo en el caso contrario.

CAPÍTULO 3

CONCEPTOS DE PLAYA.

ESQUEMA:

1. La definición de playa en los textos legales. Sus limitaciones.

2. Las playas como sistemas físicos.

3. Los sub-ambientes sedimentarios de las playas.

1. LA DEFINICIÓN DE PLAYA EN LOS TEXTOS LEGALES. SUS LIMITACIONES.

Antes de desarrollar unos contenidos, referentes a playas, se precisa definir estos escenarios geográficos. Las definiciones de "playa" abarcan desde enunciados muy sencillos a otros de estilos muy matizados. Las matizaciones dan complejidad a los conceptos, y hacen que adquieran formulaciones "barrocas". Pero, en contrapartida, se acentúa el carácter delimitante del objeto a estudiar. Y esto es básico en cualquier estudio o investigación.

La Ley española 22/1988, de 28 de julio, B.O.E. del día 29 de ese mismo mes, referentes a Costas, en su Artículo 3, apartado b), define a las playas como "zonas de depósito de materiales sueltos, tales como arenas, gravas y guijarros, incluyendo escarpes, bermas y dunas, tengan vegetación o no, formadas por la acción del mar o del viento marino, u otras causas naturales o artificiales".

El anterior texto engloba a la trasplaya eólica (transplaya, playa interna o playa seca), de acuerdo con los geólogos y geógrafos. Sin embargo, no está recogida , por lo menos explícitamente, la playa sumergida. Esta existe siempre que haya depósito de materiales, más gruesos que los principales constituyentes del limo, en un ambiente sumergido, próximo a la orilla. Se prolonga, mar adentro, hasta donde se deja sentir el oleaje en profundidad.

En la ribera del mar, la playa intermareal - seca está situada, administrativamente, en la zona marítimo-terrestre. La fachada (playa sumergida) se encuentra ya en el mar territorial.

Téngase en cuenta que el sector intermareal, en aquellas playas sometidas a amplios acarreos de mareas, ocupa gran parte del ambiente delimitado por las rompientes y la orilla. Y para Sánchez Arcilla (1985), estos dos límites enmarcan el escenario quizás más activo, incluidos los procesos sedimentarios, de una playa.

El apartado a) del Artículo 3, del ya indicado texto legal, el límite externo, de la zona marítimo terrestre, lo establece la línea de bajamar escorada, en su nivel más bajo, ésto es, en la bajamar máxima equinoccial. El límite interno lo determina el alcance de las olas, en los mayores temporales conocidos, o, si penetra más hacia tierra, la línea de pleamar máxima viva equinoccial. La franja de protección de los 100 metros se fija a partir de este límite interno.

2. LAS PLAYAS COMO SISTEMAS FÍSICOS.

En el manejo de un litoral interesa, sobre todo, considerar el desarrollo conceptual de playa arenosa, desde una perspectiva física. En este sentido, se entiende por playa arenosa un sistema dinámico, que tiende a un equilibrio entre:

- la energía del oleaje incidente,
- la pendiente topográfica, afectada por la hidrodinámica del oleaje,
- y los valores granulométricos de los áridos, que forman esta pendiente.

La anterior definición deriva de expresiones, tales como las de Sunamura (1984):

$$tag\alpha = \frac{0.013}{\left(H_b \cdot g^{0.5} D^{0.5} T\right)^2} + 0.15 \quad \text{(con datos de laboratorio)}$$

$$tag\alpha = \frac{0.12}{\left(H_b \cdot g^{0.5} D^{0.5} T\right)^{0.5}} \quad \text{(con datos de campo)}$$

donde:

H_b = altura de la ola, en la rompiente,
T = periodo del oleaje,
D = mediana del tamaño de grano del sedimento
g = aceleración de la gravedad,
α = pendiente de la playa.

También esta definición se puede deducir:

- De las relaciones entre medianas granulométricas y las pendientes, según Bascom (1959).

- O, mejor, de las relaciones de Bascom (1959), pero configuradas, en el tiempo, conforme con las oscilaciones energéticas de las olas incidentes. Esto lo muestra muy bien Komar (1976).

3. LOS SUB-AMBIENTES SEDIMENTARIOS DE LAS PLAYAS.

Sin considerar las clasificaciones y denominaciones, en dependencia con los efectos hidrodinámicos, en los perfiles transversales, una playa comprende, en la terminología habitual, los siguientes sub-ambientes:

- *Playa interna* (backshore). Se extiende desde el límite de pleamar hasta las formaciones dunares. Comprende la berma de acreción y la berma de erosión.

- *Playa externa* (foreshore). Queda delimitada por los alcances de la pleamar y la bajamar. Durante la pleamar, en ella se encuentra la zona de rompientes. El estrán abarca desde la orilla de pleamar hasta las posiciones más externas de la zona de rompientes, tras el límite de bajamar. Este último concepto rebasa al de playa externa. Dentro del estrán se desarrolla el sector intermareal, denominado asimismo como intertidal.

- *Playa sumergida* (shoreface). Ocupa el espacio comprendido entre la zona de rompientes, en sus posiciones más externas, hasta donde el oleaje deja de afectar, directamente, al fondo. Este límite más externo de una playa recibe el calificativo de "neutro". Obviamente, no tiene una posición fija, sino que depende de las características oceanológicas del oleaje, en cada momento.

En relación con todos estos límites, se suele trabajar con posiciones espaciales, promediadas en el tiempo.

CAPÍTULO 4

LAS CLASIFICACIONES DESCRIPTIVAS DE LAS PLAYAS.

ESQUEMA:

1. Introducción.

2. Desarrollo de una clasificación descriptiva.

1. INTRODUCCIÓN.

Las clasificaciones genéticas de las playas son las prioritarias, en el estudio de muchos de los procesos y efectos físicos, con sus causas, dentro del ámbito litoral. Estas clasificaciones consideran las variables, dependencias y condicionantes, de la formación y evolución de los depósitos sedimentarios playeros. Se discutirán en sus momentos oportunos, después de haber considerado los contenidos necesarios para ello.

No obstante, para familiarizarse, aunque sea superficialmente, con los escenarios, que se estudian físicamente, no está mal, dentro de una tentativa de clasificación, un análisis de posibles criterios, que puedan sustentar agrupaciones ordenadas y jerarquizadas de observaciones descriptivas de las playas.

Las clasificaciones descriptivas consideran el conjunto indiscriminado de elementos observables.

2. DESARROLLO DE UNA CLASIFICACIÓN DESCRIPTIVA.

Las descripciones de las playas se pueden basar en diferentes criterios:

a). Conforme con la datación del depósito.

Una posible clasificación descriptiva arranca en considerar a los depósitos playeros en:

- paleo-ambientes, y
- ambientes sometidos a los procesos físicos actuales.

En una discusión de las paleo playas, se pueden encontrar las claves para entender la dinámica de las actuales, cosa que tiene, de por sí, bastante importancia, en la toma de correctas decisiones, en la gestión de un litoral.

Las paleo-playas, y, en general, las paleo-líneas costeras, se sub-clasifican en fosilizadas, o no, según se encuentren recubiertas, o no, respectivamente, por otros materiales posteriores, sean sedimentarios o volcánicos.

La Historia geológica de una orilla se puede formular a partir:

- de litofacies, y
- de contenidos en fósiles de facies y característicos.,

tanto del depósito de playa como de la cobertera. Pero además, se puede utilizar otros criterios y métodos, más o menos complementarios, como son las dataciones absolutas, y las relaciones de los depósitos con los movimientos:

- eustáticos,
- y los implicados con la tectónica, principalmente con la neo-tectónica.

De esta manera, se deducen tendencias actuales, en la evolución de las orillas marinas.

b). En función de los tamaños de los áridos.

Este criterio permite obtener los siguientes grupos de playas:

- Playas de bloques y cantos.
- Playas de gravas.
- Playas de arenas.
- Playas heterogéneas (combinaciones de las anteriores naturalezas granulométricas).

c). En función de la naturaleza litológica de los áridos.

Aquí, las posibilidades de modalidades son amplias:

- Playas silíceas (las mayoritarias).
- Playas de terrígenos carbonatados (calcáreos, dolomíticos, o mezclas de ambos).
- Playas basálticas, fonolíticas, traquíticas, o de cualquier otra naturaleza volcánica.
- Playas donde predominan los carbonatos organógenos.
- Etc.

Las clasificaciones, según la naturaleza litológica de los áridos, a veces poseen su cierta importancia. Conocer en una playa, básicamente calcárea, la procedencia de estos componentes, resulta decisivo, a la hora de aplicar una metodología u otra, para determinar si el ambiente sedimentario se comporta como abierto o cerrado. Además, se puede jugar con fuentes de aportes.

d). Según la línea de costa, en planta.

En principio, se establecen los siguientes grupos:

- Playas rectilíneas.
- Playas de fondo de bahía, o de caleta.
- Playa de márgenes de caleta.
- Playas de desembocaduras de ríos, barrancos, quebradas, etc.
- Playas mixtas, entre algunas de las anteriores situaciones.

Los depósitos de áridos, en cuanto a sus procedencias y estabilidades, van en estrecha dependencia con estos criterios, como se verá cuando se trate la clasificación morfológica genética.

e). Según criterios morfológicos, en perfil transversal.

Desde esta perspectiva, sólo existe dos alternativas:

- Playas completas. Tienen todos sus elementos morfológicos básicos: trasplaya, franja intermareal, ambiente sumergido y barra o barras.

- Playas incompletas. Faltan algunos de sus elementos morfológicos básicos.

En las clasificaciones morfológicas genéticas, también se consideran estos aspectos. En las morfodinámicas, las presencias de barras toman un significado especial. Estas formas son decisivas en la interpretación física de los ambientes playeros.

Por otra parte, las barras influyen en la tendencia a un comportamiento "conservacionista" del depósito de playa: resistencia a la erosión o acreción, ante cambios en la energía del oleaje.

f). Según criterios dimensionales.

Se pueden describir tres tipos de referencia:

- Macro-playas. Superan longitudes de varios kilómetros. Las trasplayas rebasan los 100 metros.

  Potencialmente, representan disipadores importantes de la energía del oleaje, y protegen a los relieves de tierra adentro, frente a situaciones de temporales. En concurrencia con una serie de componentes apropiados de calidades ambientales, podrían constituir recursos deportivos y/o recreativos, entre otros, dentro de un usufructo turístico o de los lugareños.

- Meso-playas. Desarrollan, como mínimo, los 800 metros de longitud, sin llegar a los varios kilómetros. Las trasplayas, en promedio, rebasan los 70 metros.

  Son protectores, aunque sectoriales, del territorio litoral emergido, ante la energía de los temporales. Conservan la potencialidad como recursos deportivos y/o recreativos, si se dan otras circunstancias ambientales apropiadas.

- Micro-playas. Las longitudes están en unos pocos cientos de metros, como máximo. Las trasplayas se encuentran con amplitudes reducidas, que no alcanzan, por lo general, los 30 metros.

  Carecen de interés en un usufructo deportivo y/o recreativo intensivo o semi-intensivo. Sin embargo, algunas podrían constituir recursos básicos, en relación con otras actividades de los lugareños.

Entre estos tres tipos de ambientes, se daría toda una gama de posibilidades, que admitirían denominaciones propias.

CAPÍTULO 5

LOS MATERIALES SUELTOS DE LAS PLAYAS.

ESQUEMA:

1. Panorámica general.
2. Criterios de muestreo en las playas arenosas.
3. Caracterización mineralógica - petrológica de los terrígenos, para la identificación de fuentes de aportes sedimentarios.
4. Concepto de textura granulométrica. Los cálculos de los parámetros granulométricos de las arenas y sus significados.
5. La clasificación granulométrica de las arenas.
6. Estimaciones de intensidades relativas, evoluciones, desplazamientos y duraciones de energías cinéticas medias, en los ambientes de playas arenosas.
7. Determinación de ambientes sedimentarios.
8. La morfoscopía y su interpretación.

1. PANORÁMICA GENERAL.

El estudio de los materiales sueltos de las playas permite llegar a la caracterizaciones sedimentológicas de los áridos de estos ambientes.

En las caracterizaciones se precisan:

- la descripción y análisis de las características mineralógicas-petrológicas, y
- la observación , análisis e interpretación de los parámetros texturales de los áridos.

Con la caracterización mineralógica-petrológica, de los componentes terrígenos, de las arenas, y de acuerdo con Komar (1988), se identifican, en la medida de lo posible, las fuentes de aportes de áridos. Estos pueden tener procedencias:

- Tanto continental, transportado por las aguas de los ríos, barrancos, quebradas, etc., hasta la orilla marina, donde son redistribuidos por la dinámica litoral.

- Como de la erosión marina, en los relieves costeros, en sentido amplio.

Con un estudio morfoscópico de los áridos, dentro de un contexto textural, se discuten determinados aspectos dinámicos de los depósitos sedimentarios, tanto de playas como de dunas. En relación con playas arenosas, toma especial significado la aportación de la forma de los granos, en las susceptibilidades de las playas de arenas para formar dunas.

Los parámetros granulométricos son necesarios, entre otras cosas, para:

- Clasificar y denominar a los depósitos de áridos.

- Diseñar diagramas de transporte, en playas.
- Y hacer estimaciones energéticas relativas, dentro del estrán.

Respecto a la energía cinética media, del oleaje incidente significativo, se calculan e interpretan, concretamente:

- la intensidad, en un periodo dado de tiempo,
- la duración, y
- la evolucionen el tiempo, con lo que se puede obtener un ángulo de desvío.

2. CRITERIOS DE MUESTREO EN PLAYAS ARENOSAS.

A no ser que determinadas investigaciones requieran otra programación, las muestras, por lo general, se toman con una frecuencia mensual, e inmediatamente después de situaciones de temporal, en ambas situaciones en bajamar viva.

Las muestras de arenas se obtienen introduciendo, en los puntos de muestreos, adecuadamente diseñados, tomas-muestras (un tubo de acero, por ejemplo), de unas dimensiones apropiadas. Normalmente es válido un tubo de unos 30 centímetros de longitud por 5 centímetros de diámetro. Con estas dimensiones:

- quedan atenuadas los efectos de las modificaciones superficiales, ajenas a la sedimentación,

- y se determinan las huellas de unas situaciones oceanológicas de media-larga duración.

Si se quiere identificar, observar e interpretar las huellas correspondientes a cambios, en las condiciones oceanológicas, muy recientes, se tiene que recurrir a toma-muestras de poca altura, con el riesgo de que hayan modificaciones superficiales. En situaciones de calma, lógicamente se emplea este última técnica.

Una vez obtenidas las muestras de arena, estas se pasan inmediatamente a bolsas dobles de plástico. Entre las dos bolsas, se pone la correspondiente etiqueta.

Las etiquetas son de material resistente a la humedad, por ejemplo, de láminas transparentes de acetato. En ellas, con un rotulador de tinta permanente, se anotan:

- nombre y siglas de la playa,
- fecha,
- hora, y
- punto de muestreo.

3. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA - PETROLÓGICA DE LOS TERRÍGENOS, PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE APORTES SEDIMENTARIOS.

La caracterización de la naturaleza mineralógica - petrológica de los terrígenos tiene, en muchas ocasiones, una enorme importancia, en cuanto esto puede permitir la identificación de la fuente, o fuentes, de los aportes de áridos. Y todo ello es una herramienta de gran utilidad en la delimitación de provincias morfodinámicas.

Si cabe la posibilidad que existan fuentes alternativas de aportes, o la coexistencia de fuentes, la metodología, para precisar las procedencias, se basaría en una tabla, que establezca asociaciones mineralógicas compatibles e incompatibles.

Sea el ejemplo de las arenas de la Playa de Maspalomas, en la Isla de Gran Canaria (España), donde las arenas podrían proceder de relieves:

- basálticos alcalinos,

- traquíticos, y/o
- fonolíticos.

La tabla 1 determinaría los relieves - fuentes de aportes de terrígenos, para el ambiente sedimentario en cuestión.

Suelen darse la coincidencia de que, cuando intervienen fuentes diversas de aportes, a veces por el concurso de dinámicas oceanológicas distintas, son polimodales las curvas de frecuencia simple de las granulometrías, en representaciones aritméticas.

Arenas basálticas alcalinas	**Arenas traquíticas**	**Arenas fonolíticas (y traquíticas)**	**Arenas basálticas y traquíticas**	**Arenas basálticas y fonolíticas (y traquíticas)**
Minerales presentes				
plagioclasa Na-Ca (olivino)	albita	albita feldespatoides	plagioclasa Na-Ca albita (olivino)	plagioclasa Na-Ca albita feldespatoides (olivino)
Minerales ausentes				
albita feldespatoides	plagioclasa Na-Ca feldespatoides olivino	plagioclasa Na-Ca olivino	feldespatoides	

Tabla 1

Criterios para identificar la procedencia de los terrígenos, en la Playa de Maspalomas (Isla de Gran Canaria, España). Entre paréntesis encuentran las situaciones ocasionales.

En las caracterizaciones mineralógicas suelen utilizarse, entre otras, las técnicas:

- de microscopia óptica, y
- de difracción de Rayos X.

4. CONCEPTO DE TEXTURA GRANULOMÉTRICA. LOS CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS DE LAS ARENAS Y SUS SIGNIFICADOS.

a). La textura granulométrica.

Se entiende por granulometría de unos sedimentos los tamaños de sus áridos, sueltos o cementados, expresados en diámetros. Pero como los áridos no son esféricos, hay que referirlos al "modo de medida".

Los modos de medida que se utilizan pueden ser diversos:

- velocidad de sedimentación, para iguales pesos específicos,
- columnas de tamización,
- microscopio,
- fotografía,
- etc.

En el caso de las arenas sueltas, y conforme con una referencia lineal, se emplea, con mucha frecuencia, los "diámetros de malla", o los "tamaños de malla", de una columna de tamización, a través de la cual pasan los granos. Con esta tecnología, para una muestra total, se obtendrán una serie de tamaños de diámetro, de las diferentes fracciones que quedan sobre los distintos tamices de la columna.

b). Construcción de gráficas granulométricas.

Después de una tamización, las representaciones gráficas de los tamaños se realizan como:

- histogramas,
- curvas de frecuencia, y
- diagramas de dispersión.

De todas, las curvas semilogarítmicas, de frecuencia acumulada, son las que tienen una mayor difusión. En éstas, se representan los porcentajes de peso acumulado (frecuencia) en una ordenada aritmética, o de probabilidad, frente a diámetros, en una abscisas logarítmica.

Los tamaños se toman según escalas logarítmicas, nunca en escala aritmética, ya que no se puede interpretar de la misma forma la proximidad de tamaños en los granos. La diferencia entre 0.20 y 0.17 mm., por ejemplo, es significativa en la dinámica de las arenas, mientras que la diferencia entre diámetros de 48 y 49 mm. carece de significado, en un proceso dinámico.

En la actualidad, suele usarse una abscisas en *unidades ϕ* (fi). La escala fue propuesta por Krumbein (1934). Un tamaño de grano en unidades ϕ se define como el logaritmo negativo, en base 2, de ese tamaño en milímetros.

$$\phi = -\log_2 \text{diámetro (mm)}$$

Un diámetro "d", en milímetros, se pasa a unidades ϕ mediante la fórmula:

$$\phi = -\frac{\ln d}{\ln 2}$$

La anterior fórmula hace que la reconversión sea muy sencilla. Por ejemplo, si se quiere pasar el diámetro 0.25 mm a unidades ϕ, se operaría como sigue:

$$\phi = -\frac{\ln 0.25}{\ln 2} = -\frac{-1.38629}{0.693147} = -(-2) = 2$$

c). Concepto de parámetros granulométricos.

Los parámetros granulométricos se definen como las medidas o cuantificaciones de observaciones, que permiten identificar, interpretar y verificar unos procesos, predecir unas tendencias y diseñar unos modelos físicos.

Con los parámetros granulométricos, entre otras cosas:

- Se deducen algunas de las propiedades de las rocas detríticas, tales como distribuciones de frecuencia, tamaños medios, calibrados, simetrías, etc.

- Se clasifican y denominan granulométricamente esas rocas.

- Se contrastan cuantitativamente sedimentos.

- Se identifican ambientes sedimentarios.

- Se hacen estimaciones cualitativas, o semi-cuantitativas, de las situaciones energéticas ambientales.

- Y se diseñan diagramas de corrientes y de transportes.

Los parámetros granulométricos se obtienen:

- De las tablas de porcentajes, en peso, de las fracciones de una muestra, o de curvas de frecuencia simple.

- Y de curvas de frecuencia acumulada.

d). Parámetros de curvas de frecuencia simple.

Buscan el tamaño medio de los granos. Entre éstos están:

- la media aritmética, y
- la moda,

que traducen la energía cinética del ambiente sedimentario.

La *media aritmética* se define como el centro de gravedad de la distribución. Corresponde a la fórmula:

$$M_z = \frac{1}{N}\sum x_i f_i$$

donde:

M_z = media granulométrica (diámetro medio),

N = número total de observaciones en la muestra elegida (si se trabaja en porcentajes, N = 100),

f_i = frecuencia de clase = número de veces que se observa el diámetro "i". Equivale al porcentaje de muestra correspondiente a una fracción dada, para N = 100.

La *moda* es el valor del diámetro que aparece más veces (el que corresponde al mayor porcentaje). Representa el tamaño medio en estimaciones rápidas.

e). Parámetros de curvas de frecuencia acumulada.

Aquí, se definen, generalmente. dos tipos de parámetros:

- percentiles, o parámetros de rango, y
- parámetros de relación.

Los *percentiles* establecen valores de diámetros, en relación con porcentajes acumulados (rangos). Entre los principales percentiles se encuentran:

- el centil (C),
- el cuartil Q_1 = cuartila grande,
- la mediana (Md = Q_2), y
- el cuartil Q_3 = cuartila pequeña.

El *centil* representa el valor de diámetro de malla, que separa el 1% de los granos mayores (que no pasan) del 99% de los granos más pequeños. Si en el transporte existen todos los tamaños de grano, el parámetro traduce el nivel de energía máxima disponible, en el ambiente sedimentario.

El *cuartil Q_1* representa el valor de diámetro de malla, que separa el 25% de los granos mayores del 75% de granos más pequeños.

La *mediana* se define como el valor de diámetro de malla, que deja a la izquierda y a la derecha la mitad de las observaciones: pasa por el tamiz el 50% de granos más pequeños y sobre él queda el otro 50%, de granos mayores. Traduce el nivel estadístico de energía media, en el ambiente sedimentario, siempre que estén disponibles todos los tamaños de granos.

El *cuartil Q_3* representa el valor de diámetro que separa el 75% de granos mayores del 25% de granos más pequeños.

Un percentil cualquiera se simboliza con una "P" y un subíndice, que hace referencia al rango.

Son también muy recurridos los parámetros, expresados en unidades ϕ, en relación con los rangos 10, 16, 84 y 90. Se simbolizan con el signo ϕ y un subíndice, que indica el porcentaje. Ejemplo: ϕ_{10} .

Los *parámetros de relación* se obtienen a partir de otros parámetros granulométricos. Con éllos, se forman varios grupos:

- medidas de tendencia central,
- medidas de asimetría (parámetros skewness),
- parámetros de clasificación o dispersión, y
- medidas de angulosidad o Kurtosis.

Corrales y otros (1977) resumen, en unas tablas (páginas 74 - 80), los principales parámetros utilizados en la interpretación granulométrica.

5. LA CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS ARENAS.

La clasificación y nomenclatura granulométrica, de las rocas y sedimentos detríticos, se obtienen a partir de esquemas, en función de determinados percentiles.

Para los depósitos de playa, da buenos resultados el Esquema de Niggli, modificado por Pettijohn (1957), y diseñado con los percentiles Q_1 y Q_3 , ésto es, teniendo presente los tamaños de grano entre valores externos, que delimitan el 50% central de la curva de frecuencia acumulada.

Este esquema clasifica a las rocas u sedimentos en tres grandes grupos:

- ruditas,
- arenitas, y
- lutitas.

Las *arenitas* corresponden a:

- *arenas*, cuando los granos están sueltos, y
- *areniscas*, cuando están cementados.

Las playas, que normalmente se estudian, están formadas por arenas, luego conviene matizar la clasificación y nomenclatura de los áridos englobados en este término. Para ello, se utiliza otro esquema complementario, según los percentiles Q_1 y Q_3 (Martínez y Casas, 1991).

De este otro esquema de clasificación, se obtiene la siguiente batería de denominaciones:

1. Arenas muy gruesas con arenas muy finas.
2. Arenas muy gruesas con arenas finas.
3. Arenas muy gruesas con arenas medias.
4. Arenas muy gruesas con arenas gruesas.
5. Arenas gruesas.
6. Arenas gruesas con arenas muy finas.
7. Arenas gruesas con arenas finas.
8. arenas gruesas con arenas medias.
9. Arenas gruesas.
10. Arenas medias con arenas muy finas.
11. Arenas medias con arenas finas.
12. Arenas medias.
13. Arenas finas con arenas muy finas.
14. Arenas finas.
15. Arenas muy finas.

6. ESTIMACIONES DE INTENSIDADES RELATIVAS, EVOLUCIONES, DESPLAZAMIENTOS Y DURACIONES DE ENERGÍAS CINÉTICAS MEDIAS, EN LOS AMBIENTES DE PLAYAS ARENOSAS.

A partir de parámetros granulométricos de relación, de las arenas, se pueden caracterizar las intensidades relativas, la duración y la evolución de la energía cinética media, que determinan los procesos de acreción y erosión, en los depósitos sedimentarios.

a). Evoluciones de las energías cinéticas medias.

El parámetro *M de Trask* (1932), en mm., se define como:

$$M_{(mm)} = \frac{Q_1 + Q_3}{2}$$

y estima la energía cinética media relativa, que incide en el ambiente sedimentario. Dentro de una escala logarítmica, en donde las unidades 2 y 1 milímetro tengan una separación de 27 milímetros, por convenio, se puede representar el promedio de las medias de Trask, de una campaña determinada. De igual manera, cabe representar la serie temporal de campañas mensuales, desde una acreción significativa a su erosión máxima, o viceversa, sobre líneas consecutivas que, también por convenio, mantengan una equidistancia de 1 centímetro.

Se opera en papel semilogarítmico, ya que las relaciones entre parámetros de valores granulométricos tienen distintos significados energéticos, en función de los intervalos de diámetros en los que se encuentren. Por ejemplo, un desplazamiento de 0.2 a 0.3 mm representa un incremento energético menor que un desplazamiento de 1 a 2 mm.

El *ángulo de desvío de la energía cinética media* sería el que forma la vertical, que pase por el promedio de la media de Trask en acreción significativa, o en erosión máxima, con las recta que se ajuste al conjunto de promedios, de esta media, de la anterior serie temporal. A menor ángulo, menor evolución energética del ambiente sedimentario. Al respecto, las playas se subclasificarían de acuerdo con la tabla 2, que establece seis categorías. La tabla 3 recoge ejemplos de subclasificación de una serie de playas arenosas de Gran Canaria (España), conforme con este criterio. Aquí, se da una gama completa de posibilidades.

Ángulo de desvío (grados sexagesimales)	**Calificación**
de 0 a 05	evolución energética muy suave
de 6 a 15	evolución energética suave
de 16 a 25	evolución energética moderada
de 26 a 35	evolución energética fuerte
de 36 a 45	evolución energética muy fuerte
> 46 (sólo queda arena residual, entre gravas, cantos y/o bloques	evolución energética extrema

Tabla 2

Subclasificación de las playas arenosas, según el ángulo de desvío de la energía cinética media.

Playa	**Fecha**	**Periodo sedimentario intermareal**	**Ángulo de desvío de la energía cinética.**	**Calificación**
Sardina del Norte	30/12/84-31/8/85	de erosión a acreción	08 grados	evolución energética suave
Las Canteras Norte	24/2/84-26/9/84	de erosión a acreción	00 grados	evol. energética muy suave
Las Canteras Sur	24/2/84-26/9/84	de erosión a acreción	11 grados	evol. energética suave
El Hombre	30/12/83-25/2/84	de acreción a erosión	29 grados	evol. energética fuerte
El Burrero	5/5%85-2/10/85	de erosión a acreción	09 grados	evol. energética muy suave
El Inglés	de febrero/86 a diciembre /86	de acreción a erosión	20 grados	evol. energética fuerte
Punta de la Bajeta	de marzo/86 a diciembre /86	de acreción a erosión	06 grados	evol. energética suave
Maspalomas	de febrero/86 a octubre/86	de erosión a acreción	00 grados	evol. energética muy suave
Quintanilla	17/4/86-11/9/86	de acreción a erosión	50 grados	evol. energética extrema.

Tabla 3

Ejemplos de subclasificación de playas arenosas, de la Isla de Gran Canaria, según el ángulo de desvío de la energía cinética media.

b) Estimaciones de desplazamientos de las energías cinéticas.

El parámetro de relación *Skα de Krumbein* (1934), en milímetros, tiene por fórmula:

$$Sk_{\alpha} = \frac{Q_1 + Q_3 - 2md}{2}$$

Este mide la tendencia de la energía cinética media a desplazarse hacia valores más altos, o más bajos, de lo normal, en relación con la energía que traduce la mediana (md).

La tabla 4 subclasifica a las playas arenosas, conforme con esta tendencia. La tabla 5 ejemplariza esta subclasificación, y muestra un ábaco de casos bastante completo, sobre todo si se contemplan situaciones promedios, de erosión y de acreción

Criterio: valores del parámetro Skα	Calificación
> 0.02	hiper-energética
entre 0.02 y 0.01	meso-energética
entre 0.01 y -0.01	en equilibrio energético
< -0.01	hipo.energética

Tabla 4

Subclasificación de las playas arenosas, de acuerdo con las tendencias de desplazamientos, de las energías cinéticas medias.

Playa	Skα en erosión	Calificación	Skα en acreción	Calificación	Skα medio	Calificación
Sardina del Norte	-0.013	Equilibrio energético	0.009	Equilibrio energético	-0.002	Equilibrio energético
Las Canteras Norte	0.023	Hiper-energética	0.008	Equilibrio energético	0.016	Meso-energética
Playa Chica	0.034	Hiper-energética	0.011	Meso-emergética	0.023	Hiper-energética
Las Canteras Sur	0.033	Hiper-energética	0.031	Hiper-energética	0.027	Hiper-energética
El Hombre	0.008	Meso-energética	0.007	Equilibrio energético	0.008	Equilibrio energético
El Burrero	-006	Hipo-energética	0.004	Equilibrio energético	-0.001	Equilibrio energético
El Inglés	0.053	Hiper-energética	0.028	Hiper-energética	0.041	Hiper-energética
La Bajeta	0.007	Meso-energética	0.006	Equilibrio energético	0.006	Equilibrio energético
Maspalomas	0.005	Equilibrio energético	0.003	Equilibrio energético	0.004	Equilibrio energético

Tabla 5

Ejemplos de subclasificación de playas arenosas, de la Isla de Gran Canaria, según las tendencias de desplazamiento, de las energías cinéticas medias.

c) Duración de las energías cinéticas medias.

El parámetro $Kq\alpha$, en milímetros, de Krumbein (1938), tiene por fórmula:

$$Kq_{\alpha} = \frac{Q_1 - Q_3}{2(P_{10} - P_{90})}$$

En curvas normales, se obtiene un valor de 0.263. En curvas angulosas, Kqα tiene un valor menor, y en curvas achatadas, un valor mayor.

El parámetro traduce la duración de la energía cinética media, en el depósito de las arenas. Con este otro criterio, las playas arenosas pertenecerán a uno de los siguientes grupos:

- playas de energía cinética media prolongada (curva angulosa),
- playas de energía cinética media de duración normal (curva normal), y
- playas de energía cinética media de duración reducida (curva achatada).

En relación con erosiones máximas, la tabla 6 recopila algunos ejemplos, en donde se ha aplicado e interpretado este parámetro.

Playa	Fecha (de erosión máxima)	Kqα	Tipo de curva	Calificación
Sardina del Norte	30/12/84	0.147	angulosa	de energía cinética media prolongada
Las Canteras Norte	24/2/84	0.224	angulosa	de energía cinética media prolongada
Las Canteras Sur	24/2/84	0.236	angulosa	de energía cinética media prolongada
El Hombre	25/2/84	0.260	normal	de energía cinética media, de duración normal
El Burrero	5/5/85	0.253	angulosa	de energía cinética media prolongada
El Inglés	diciembre/86	0.300	achatada	de energía cinética media, de duración reducida
Punta de la Bajeta	diciembre/86	0.528	achatada	de energía cinética media, de duración reducida
Maspalomas	3/3/86	0.289	achatada	de energía cinética media, de duración reducida

Tabla 6

Ejemplos de subclasificación de playas arenosas, de la Isla de Gran Canaria, según la duración de la energía cinética media, en procesos máximos de erosión.

7. DETERMINACIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS.

Se utilizan, con mucha frecuencia, parámetros granulométricos en la identificación del medio sedimentario. Los principales introductores al método fueron Trask (1932), Inman (1952), Folk y Ward (1957), Mason y Folk (1958), Friedman (1961) y Shepard y Young (1961).

Muchos autores, ante la posibilidad de hallar un mismo índice numérico, a partir de la granulometrías, para diferentes ambientes sedimentarios, desconfían de las interpretaciones. Sin embargo, en base a estas identificaciones, se deduce la tendencia (real o potencial) al desarrollo de trasplayas eólicas, mantos eólicos y/o dunas, naturalmente arenosas, lo que justifica la inclusión de esta clásica metodología en el estudio de los procesos litorales.

En este contexto de playas, se opta:

- por un método de aproximación, y/o
- por los ajustes con los parámetros Q_p de Krumbein y Hé de Cailleux.

En el *método de aproximación*, se contrasta visualmente la curva de frecuencia acumulativa con las curvas más típicas, de diversos ambientes sedimentarios. Estas curvas se encuentran recogidas por Martínez y Casas (1991). El mejor ajuste traduce el ambiente sedimentario con el que se identifica.

Para calcular los parámetros *Q_p de Krumbein* y *Hé de Cailleux*, se precisa construir previamente una regleta. En la construcción, se emplea la abscisas logarítmica de la curva y se establece la siguiente correspondencia:

mm.	graduaciones en la regleta.
1.000	0
0.500	1
0.250	2
0.125	3
0.065	4

Los intervalos entre las unidades se dividen en diez partes iguales. Es decir, entre = 0 y 1 habrá diez divisiones, y así sucesivamente.

El índice numérico Q_p de Krumbein corresponde a la semi-distancia, en la abscisas de la curva, entre Q_1 y Q_3 , medida con la regleta, cuyo cero se le hace coincidir con Q_1

$$Q_p = \frac{distancia(Q_1 - Q_3)}{2}$$

El *índice numérico Hé de Cailleux* se define como la distancia, en la abscisas de la curva, entre la mediana (Q_2) y uno de los percentiles externos centrales (Q_1 ó Q_3), medida con la regleta. el par de parámetros medidos (Q_1 - Q_2) ó (Q_2 - Q_3) se selecciona en función de la curva: se toma el intervalo que coincida con el tramo de la curva con mayor pendiente (distancia más corta en abscisas).

Con estos parámetros, por separado y de acuerdo con gráficas apropiadas, como las que reproducen Martínez y Casas (1991), se establecen secuencias de ambientes sedimentarios, señalando, en cada caso, el grado de ajuste. Después de contrastar estas dos series, se selecciona el ambiente que mayor se ajuste a éllas.

8. LA MORFOSCOPÍA Y SU INTERPRETACIÓN.

La morfoscopía se refiere a la identificación, observación e interpretación de la morfología de los granos, mediante técnicas apropiadas.

La morfología comprende, principalmente, los dos siguientes aspectos:

- forma, y
- redondez.

La *forma* se define como las características geométricas en tres dimensiones. Se suelen utilizar parámetros que miden la esfericidad, el aplanamiento y el alargamiento. En un transporte de áridos, este rasgo morfoscópico tiene un tendencia muy lenta a evolucionar hacia la esfericidad.

Se entiende por *redondez* la suavidad de los contornos, que describe la curvatura de su superficie. La redondez se debe a la pérdida de masa, por desgaste, de aristas y vértices, en procesos de transporte. Estas pérdidas se ajustan muy bien a curvas exponenciales: al principio del transporte son importantes, para luego tener cambios muy suaves.

Corrales y otros (1977) recogen como se pueden hacer estas observaciones, de acuerdo con diversos autores. Krumbein y Sloss (1955) desarrollaron una gráfica visual bastante operativa al efecto, muy aceptada, donde se combinan la esfericidad y el redondeamiento.

En playas secas arenosas, y en formaciones dunares, la morfoscopía tiene una aplicación inmediata, que permite interpretaciones relacionadas con la dinámica eólica, de estos depósitos sedimentarios.

Para ambientes de arenas de playa, de naturaleza volcánica (basáltica, traquítica y/o fonolítica), con buenas proporciones de bioclastos de carbonatos (Playa y Dunas de Maspalomas, en la Isla de Gran Canaria), se han desarrollado unos parámetros mixtos (morfoscópicos - granulométricos), desde muestras previamente descarbonatadas. Estos parámetros se obtienen a partir de curvas semilogarítmicas acumulativas, de las texturas observadas. En las abscisas logarítmicas, se representan los diámetros de las arenas, en milímetros, de las distintas fracciones granulométricas, de muestras totales, y en las ordenadas los porcentajes acumulativos de un determinado grado morfoscópico, según la escala de Krumbein y Sloss (1955), de un conjunto de granos estadísticamente representativos, que tenga un mismo índice de color y un mismo aspecto superficial (brillante y/o mate). El valor de un parámetro traduce el diámetro correspondiente al 50% acumulativo, del redondeamiento y/o esfericidad, de los granos seleccionados en cuestión.

En general, las siglas de estos parámetros constan de tres letras y un número. La primera letra indica el índice de color de los granos (leucocratos o melanocratos). La segunda letra a la textura geométrica (redondeamiento, esfericidad o ambas cosa a la vez). La tercera al aspecto superficial (brillante, mate o, también, a ambas cosas conjuntamente). Y el número a la escala de Krumbein y Sloss (1955), multiplicado por 10.

Ejemplo: Mrb5, donde:

M = melanocrato,
r = redondeamiento,
b = brillante,
5 = redondeamiento igual o mayor que 0.5, en la escala gráfica de comparación.

Los parámetros de mayor identidad, para estos ambientes sedimentarios, hacen referencia a las granulometrías correspondientes a granos melanocratos brillantes, con redondeamientos, o esfericidades, iguales o mayores a 0.5. El sentido de evolución decreciente, de estos parámetros, indica hacia donde se dirige el transporte eólico de las arenas. La explicación se basa en que, en un campo de dunas, se pierde, progresivamente, la capacidad de transporte eólica, alcanzando los mayores recorridos, entre las arenas melanocratas, de unas determinadas características, las que tengan valores granulométricos relativamente más pequeños.

Para redondeamientos y esfericidades iguales o mayores a 0.8, y para granos brillantes, los parámetros melanocráticos corresponden a valores granulométricos relativamente más altos. Esto se interpreta en el marco de las peculiaridades en las distintas variables del transporte. Se deduce, como era de esperar, un mayor desgaste para el transporte por reptación, frente a los transporte por saltación y/o suspensión.

Los parámetros de granos leucocráticos (feldespatos y feldespatoides), sobre todo de los más representativos, traducen una mayor resistencia al desgaste de estos granos, frente a los melanocráticos. Se especula que el desgaste es una función inversa a las densidades, cuando las durezas son altas (alrededor o superiores a 6).

Ante un largo transporte significativo, eólico o no, que permita una progresiva maduración (cada vez más diferenciados) de estos rasgos morfológicos (redondeamiento y esfericidad), se podría definir otro tipo de parámetro, que correspondiera a la definición de "*porcentaje acumulativo de un grado morfológico dado, en relación con un determinado diámetro*". Para un mismo tamaño, el porcentaje decaería en el sentido de avance del transporte. Estos otros parámetros se miden también con las anteriores series de gráficas semilogarítmicas.

CAPÍTULO 6

FORMAS MENORES (ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS) DE LAS PLAYAS.

ESQUEMA:

1. Concepto de formas menores de las playas.
2. Ubicación del estudio de las formas menores.
3. Sistematización de las formas menores.
3. Definiciones y descripciones de las formas menores significativas de las playas.

1. CONCEPTO DE FORMAS MENORES DE LAS PLAYAS.

Dentro de un esquema geológico, las formas menores, conforme con una terminología de Ingeniería de Costas, equivalen a las estructuras sedimentarias.

A partir de una extrapolación conceptual de estructuras sedimentarias de Vera (1994), las formas menores de las playas se pueden definir como dispositivos espaciales - temporales, originales de los depósitos de áridos, como huellas de registros de procesos físicos, determinados:

- por la hidrodinámica marina (oleajes, corrientes y/o mareas), y
- por la acción de los vientos, en dominios secos,

que implican efectos de transporte, deposición y erosión, durante intervalos dados de tiempo, de la evolución de estos ambientes.

Este concepto se puede expresar de una forma más sencilla como las características identificables "in situ", en las arenas de las playas, que han dependido de transportes y/o depósitos.

2. UBICACIÓN DEL ESTUDIO DE LAS FORMAS MENORES.

Aparte de identificar, observar, clasificar y denominar las formas menores, para intentar interpretaciones físicas y prever predicciones, estas soportan:

- Discusiones dinámicas, principalmente hidrodinámicas, sobre todo de las oscilaciones atrapadas. Las estructuras sedimentarias más significativas, para ello, son los cusps (medias lunas) y las barras.

  Los cusps permiten deducir y caracterizar oscilaciones sub-armónicas, y sus longitudes de onda. Las barras pueden constituir elementos muy válidos para deducir el estadio morfodinámico del ambiente. Ambas cosas son decisivas para jugar con una de las clasificaciones de las playas, que discute genéticamente los depósitos sedimentarios.

- Discusiones mediante ecuaciones diferenciales estocásticas (con términos aleatorios).

- E inferencias fractales, en el ámbito intermareal.

Pero antes de deducir interpretaciones físicas, se tienen que llegar a la modelización física y matemática. Por ejemplo:

- Merino (1987) hace una muy buena discusión de la dinámica de las barras, dentro de un modelo físico, apropiado para comprender la evolución morfodinámica de las playas arenosas. Su campo de experimentación lo sitúa en la Playa del Sardinero (Santander, España).

- Y Pacheco (1992) obtiene una buena modelización de mecanismos causales, en el contexto de ecuaciones diferenciales estocásticas, para las estructuras de rill marks. La modelización básicamente llega a entender, a estas estructuras, como oscilaciones, normalmente amortiguadas, perturbadas por un ruido, que está en relación con las características, a pequeña escala, de la cuenca. Las perturbaciones explican los desvíos del flujo del cauce.

3. SISTEMATIZACIÓN DE LAS FORMAS MENORES.

Aquí, sólamente se sistematizan estructuras sedimentarias primarias. Esto es, aquellas estructuras que se originan durante los transportes y depósitos. Las estructuras sedimentarias secundarias serían las que corresponden a procesos de transformación de los sedimentos a rocas.

En principio, con las formas menores, se pueden formar dos grupos:

- Estructuras sedimentarias primarias mayores. Engloban, esencialmente, las formas menores que se relacionan con la clasificación genética morfodinámica de las playas. Para sus descripciones, normalmente se requieren campos amplios de visión, desde puntos singulares de observación, o como los que dan las fotografías aéreas, cuando emergen. Para las formas sumergidas, se precisan mapas batimétricos.

- Y estructuras sedimentarias primarias menores. Describen normalmente aspectos de detalle de los depósitos de áridos. Ello no quita que sean decisivas en la discusión de muchos aspectos dinámicos, de los procesos físicos, de los ambientes playeros. Para sus descripciones, se necesitan campos limitados de visión (a nivel de afloramiento), pero lo suficientemente amplios como para no precisar de instrumentación de laboratorio. En caso contrario, se estaría ante texturas.

Entre las estructuras primarias mayores, se encuentran:

- Los bajos fondos arenosos.
- Las barras de playas sumergidas y crestas y surcos inter-inframareales (low and full).
- Lenguas de arenas.
- Lagunetas (runnel).
- Medias lunas (cusps).
- Mega ripples

Con las estructuras sedimentarias menores, se llega a esta otra clasificación:

1. Escalones:

2. Marcas de corrientes:

   a). Groove casts:

   - regueras (rill marks),
   - huellas romboidales de resaca,
   - surcos de retorno

b). Turbo grifos (flute casts).

c). Rizaduras (ripples) de corrientes

3. Rizaduras (ripple marks):

a). Rizaduras de transporte eólico.
b). Rizaduras de corrientes.
c). Rizaduras de oleaje.

4. Marcas de estratificación:

a). Estratificación subparalela.
b). Estratificación cruzada.

5. Domos, anillos y otras estructuras circulares..

Evidentemente, este esquema de sistematización, de estructuras sedimentarias, resulta muy pobre, dentro de una perspectiva de Estratigrafía. Considérese, por ejemplo, la sistematización de Vera (1994), que recoge las estructuras sedimentarias primarias y secundarias en 5 niveles de síntesis, bajo los siguientes epígrafes:.

- Estructuras sedimentarias de ordenamiento interno.
- Estructuras sedimentarias de superficies de estratificación.
- Estructuras sedimentarias de deformación.
- Estructuras sedimentarias orgánicas.
- Estructuras sedimentarias diagenéticas.

Estos niveles de síntesis discuten 63 posibilidades.

Sin embargo, la sistematización aquí presentada es bastante adecuada y operativa, en el marco de un conocimiento y comprensión de los procesos físicos, enfocados a las playas actuales, sobre todo, si se tienden a estudiar los efectos de la hidrodinámica, en los depósitos de arena.

4. DEFINICIONES Y DESCRIPCIONES DE LAS FORMAS MENORES SIGNIFICATIVAS DE LAS PLAYAS.

Las descripciones e interpretaciones, de muchos de los términos inventariados, se abordarán en el capítulo de la Clasificación Genética Morfodinámica de las Playas. Con todo, a modo de introducción, unas primeras definiciones, y a veces descripciones someras, de a anterior sistematización, serían las siguientes:

Bajos fondos arenosos:

Corresponden a depósitos de arenas inframareales, sobre fondos no arenosos, o a acúmulos incrementados de arena, en lechos arenosos. En la geometría de estos depósitos, no destacan longitudes paralelas a la orilla.

Barras:

Conforman bancos de arenas, desde ámbitos de playas sumergidas a entornos inter-inframareales. En la geometría de los depósitos, sobresalen las longitudes, que adquieren disposiciones paralelas, o ligeramente oblicuas, a la orilla.

Pueden desarrollar sucesiones de umbrales y depresiones.

Lenguas de arenas:

Se pueden definir como entrantes sectoriales, normalmente angostos, de arena, sumergidos, semi-sumergidos o emergidos, desde la orilla hacia mar adentro. Pueden representar hemitómbolos o tómbolos, en relación con barras emergentes, próximas a la línea de costa.

Lagunetas:

Se tratan de estancamientos transitorios de agua, en depresiones longitudinales de la franja intrmareal, durante los pasos de pleamares a bajamares. Se suelen relacionar con "soldaduras", todavía incompletas, de barras migratorias a las orillas.

Medias lunas:

Corresponden a sucesiones de vaguadas, cerradas hacia tierra y abiertas hacia el mar, labradas en la arena, y a veces en gravas y cantos, de la franja intermareal. Las amplitudes pueden ser desde unos pocos metros a centenas de metros.

Mega ripples:

Son, simplemente, los brazos de las medias lunas, formados en depósitos de arenas, aunque también los pueden haber de gravas y/o cantos.

Escalones:

Consisten en escarpes, desde centimétricos a métricos, en los depósitos de arenas, gravas, cantos y/o bloques, paralelos a la orilla, en los límites más externos de las playas secas. Se relacionan, con mucha frecuencia, con corrientes de deriva.

Una berma sería el tramo de trasplaya más externa, delimitada por un escalón. Una playa seca puede tener varias bermas, si hay varios escalones, más o menos paralelos entre sí, originados por cambios de posición de los límites más internos de una franja intermareal.

Marcas de corrientes:

Se entienden por marcas de corrientes las huellas de excavación, que deja el drenaje superficial del agua, sobre los áridos no consolidados.

Los arrastres de cantos, gravas, conchas etc., y las inflexiones que estos elementos determinan, durante el drenaje, pueden favorecer la formación de estas estructuras.

Groove casts:

Se identifican con marcas de corrientes, que describen canales milimétrico-centimétricos. Suelen indicar las direcciones de las corrientes, en este caso, de las corrientes de resaca.

Regueras:

Con esta terminología, se hace referencia a groove casts, del ámbito intermareal, cuyas pautas de anastomasamiento no determinan disposiciones romboidales.

Huellas romboidales de resaca:

Son casos particulares de regueras, que siguen disposiciones romboidales. En este caso, la literatura geológica habla de "huellas de resaca".

Surcos de retorno:

Se corresponden con groove casts, pero cuando sus canales se encuentran sin anastomasamiento. Estos están espaciados casi regularmente, perpendiculares a la orilla, y tienen diámetros que, si no son decimétricos, se aproximan a esa magnitud.

Turbo grifos:

Dentro de las corrientes de retorno, se refieren a lóbulos subcónicos de excavación, con sus ejes inclinados.

Las estructuras indican, no sólamente la existencia de corrientes, sino, además, el sentido de las mismas. El eje del lóbulo se inclina en el sentido opuesto al de la corriente en cuestión.

Estas marcas se deben a giros, más o menos torbellinos, de partículas sometidas a resaca

Rizaduras de oleaje, de corrientes y de transporte eólico:

Las rizaduras se definen como sucesiones de crestas y valles centrimétricos. Las crestas tienen morfologias angulosas o redondeadas, mientras que los valles siempre son redondeados.

Las oscilaciones se deben, en un primer análisis:

- a oscilaciones del oleaje, en un fondo arenoso inframareal y somero,
- a corrientes marinas, en depresiones inframareales, o en zonas intermareales externas, o
- a transportes eólicos, "por saltos" de la arena, en la trasplaya.

Las rizaduras son perpendiculares:

- o bien a las direcciones de las corrientes,
- o bien a las direcciones de aproximación de oleajes.

En cuanto a las de corrientes y de transportes eólicos, la asimetría, respecto a la localización de los lóbulos, en cada rizadura, puede servir de criterio, para identificar el sentido del avance. Los lóbulos se encuentran desplazados hacia las crestas opuestas al avance. Además, los ejes de simetría, de esos lóbulos, se inclinan hacia el sentido de procedencia.

Estratificación:

Consiste en una estructura primaria, que describe la disposición de las arenas en capas. Estas se denominan estratos. Las capas de arenas se forman a consecuencia de cambios, en el proceso de sedimentación.

Las capas de minerales pesados, comúnmente negros, como la magnetita, representan las deposiciones precoces de arenas removidas por olas de tormenta. Estos minerales, en un principio, estaban dispersos en los sedimentos.

Cuando los estratos tienen espesores menores a un centímetro, la estratificación define a una *laminación*. Si se alcanzan espesores entre 1 y 5 centímetros, se desarrolla una *estratificación muy fina*. La estratificación fina corresponde a una deposición de estratos, que tienen, cada uno, espesores comprendidos entre 5 y 60 centímetros. Con la *estratificación gruesa*, los estratos presentan espesores de 60 a 120 centímetros. Y, finalmente, si los estratos rebasan los 120 centímetros de potencia, se puede hablar de una *estratificación muy gruesa*.

A medida que las capas de una estratificación son más potente (de mayor espesor), hubo unos mayores aportes de arenas, y/o se prolongó más, en el tiempo, unas mismas condiciones de deposición.

Estratificación subparalela:

En el proceso de estratificación, las distintas capas que se depositan prácticamente se mantienen paralelas.

Estratificación cruzada:

La estructura conceptúa a un conjunto de láminas inclinadas, o convergentes, dentro de una capa (estrato). También se refiere a una estratificación que converge hacia la base del paquete sedimentario, o a estratificaciones que forman ángulos. Aunque ésto último, asimismo, podría incluirse dentro del concepto de discordancia angular.

En general, la estratificación cruzada señala el sentido de un transporte, que se dirige hacia la convergencia de las láminas, en el muro de la capa de arenas. La superposición de diferentes estratificaciones cruzadas, dentro de un mismo paquete de arena, traduce cambios en los sentidos del transporte, a lo largo del tiempo.

Domos, anillos y otras estructuras circulares:

La acometida de las olas sobre una zona intermareal puede atrapar y aprisionar aire. Cuando este aire se expansiona, eleva a la arena, con lo que se forma protuberancias, los llamados *domos*. Estas estructuras suelen tener unos 25 milímetros de alto, por unos cuantos centímetros de diámetro, y encierran un hueco central.

Si el oleaje arrasa las cúpulas de estas protuberancias:

- Se pueden obtener dibujos curvos, concéntricos, "lineales" y cerrados (*anillos*), correspondientes a las intersecciones de las delgadas capas elevadas de minerales oscuros, con la superficie topográfica plana.

- O dejar al descubierto los huecos centrales, con unas paredes donde se observan cortes, que pueden presentar secciones de las posibles estrechas capas de los minerales pesados.

La observación de los huecos también se pueden deber a los desplomes de los techos.

CAPÍTULO 7

LAS PLAYAS ARENOSAS COMO SISTEMAS DE TRANSPORTE Y DEPÓSITO.

ESQUEMA:

1. Concepto de corrientes marinas Los transportes de áridos..
2. Playas en litorales de transportes libres e impedidos.
3. La capacidad de transportes longitudinales en los litorales.
4. Diagramas de corrientes y de transportes sedimentarios en playas.
5. Las corrientes de retorno (rip currents).
6. Las playas como sistemas sedimentarios abiertos y cerrados.
7. Concepto de provincias morfodinámicas.

1. CONCEPTO DE CORRIENTES MARINAS. LOS TRANSPORTES DE ÁRIDOS.

Del Moral (1980) define a las corrientes como movimientos, generalmente no periódicos, de masas de agua del mar, que pueden tener lugar en distintas capas, a diferentes profundidades, o bien entre ellas.

Los parámetros principales que miden las características de una corriente son:

- el sentido, que indica el lugar hacia donde se dirige, y
- la velocidad.

Estas corrientes pueden arrancar, transportar y depositar áridos y, de esta manera, tener una estrecha relación con los procesos de sedimentación. Para Del Moral (1980), las corrientes son las que originan y regulan, en su mayor parte, el movimiento de los sedimentos costeros. Las evoluciones de los depósitos serán las respuestas de las fluctuaciones de esas corrientes. De ahí, la necesidad de abordar el análisis de las corrientes, con sus transportes, y el diseño de sus modelos, para discutir los cambios en los depósitos de sedimentos en el litoral.

Las arenas, y áridos de granulometrías mayores, sin llegar a los cantos y bloques, el transporte se puede realizar:

- por arrastre,
- por suspensión, y/o
- saltación.

Hjulström (1935) desarrolló un diagrama, muy vigente en la actualidad, en donde se establecen relaciones entre:

- velocidades de las corrientes y
- granulometrías de los áridos afectados,

en el contexto de los procesos de erosión, transporte y depósito.

En este diagrama, se abarcan los áridos comprendidos entre los diámetros de 500 y 0.001 milímetros.

2. PLAYAS EN LITORALES DE TRANSPORTES LIBRES E IMPEDIDOS.

Conforme con Sánchez Arcilla (1985), se pueden determinar si las playas se encuentran en litorales de transporte libre o impedido..

Se entiende como litorales de transporte libre aquellos donde las corrientes, entre la orilla y las rompientes, o en dominios algo más externos, no son interrumpidas durante un número considerable de kilómetros, aguas abajo. En caso contrario, se estaría ante litorales de transportes impedidos, donde los sedimentos tienen recorridos cortos.

Los factores que determinan que un litoral se comporte de un tipo o de otro se clasifican en:

- fundamentales , y
- secundarios.

Entre los *factores fundamentales* se encuentran los siguientes:

a). Configuración general de la costa.

Una configuración irregular de la costa implica la existencia de barreras naturales al transporte longitudinal. Se favorece la formación de playas de transporte impedido. Al revés sucede con una configuración costera regular.

b). Barreras energéticas transversales hacia mar adentro.

Estas barreras se pueden dar por la reflexión de oleajes de fuertes energías sin disipar. La reflexión se puede deber a la presencia de relieves abruptos del litoral, o de obras marítimas, que hagan frente a los oleajes. Se pueden desviar los transporte de deriva, de las arenas, transversalmente a la orilla, hasta fondos inactivos.

c). Características del oleaje, sobre todo la dirección de aproximación, promediada estadísticamente.

Las características del oleaje, que conllevan que un litoral sea de transporte libre o impedido, se recogen en la expresión (Sánchez Arcilla, 1984):

$$V = \frac{K}{(\rho_s - \rho_w)ga} F_E \operatorname{sen}\alpha b \cos\alpha b$$

donde:

V = volumen de sedimentos (m^3), que atraviesa una sección de costa, por unidad de tiempo (segundo). Cuantifica un transporte longitudinal.

K = constante adimensional. Habitualmente toma el valor de 0.77.

ρ_s = densidad del sedimento.

ρ_w = densidad del agua del mar.

g = aceleración de la gravedad.

a = factor de corrección, en relación con el espacio poroso, en el volumen de sedimentos. Para las arenas, "a" es aproximadamente igual a 0.66.

F_E = flujo de energía, por metro cuadrado de cresta, en rompiente.

αb = ángulo de la cresta del oleaje incidente con la línea de costa, en rompiente.

De acuerdo con la anterior expresión, para una incidencia normal del oleaje, $\alpha b = 0$. El seno de este ángulo tiene un valor cero, lo que traduce un volumen nulo en el transporte longitudinal. El litoral se comportaría como de transporte impedido. Se produce, básicamente, una circulación en célula, y un transporte casi exclusivamente local.

En cambio, con una incidencia oblicua, se favorece el transporte longitudinal y, por lo tanto, las playas de transporte libre.

Entre los *factores secundarios* se identifican, significativamente, tres:

1). Periodo de onda de las olas.

Cuando mayor es el periodo T y, en consecuencia, la longitud de onda, mayor refracción experimenta el oleaje, y más paralela a la orilla resulta la incidencia de las crestas. Con ello, se favorece el transporte impedido.

2). Pendiente de la playa sumergida (zona offshore).

Cuando aumenta la pendiente, disminuye la refracción del oleaje. Este conserva, en gran medida, su oblicuidad. Así, se favorece el transporte libre, salvo que la pendiente sea excesiva, y no exista apenas una amplitud adecuada, con un declive apropiado, entre la orilla y la rompiente (zonas surf y swash), para el desarrollo de un transporte longitudinal significativo.

3). Rango de marea.

Cuando aumenta la carrera de marea, más intensas son sus corrientes. Con ello, se favorece la llegada y evacuación de sedimentos en una playa, lo que trae consigo los efectos contrarios a un transporte impedido.

3. LA CAPACIDAD DE TRANSPORTES LONGITUDINALES EN LOS LITORALES.

La cuantificación de un transporte longitudinal:

- por incidencia oblicua del oleaje,
- sobre un fondo próximo a la orilla, de pendiente adecuada,
- y sin que intervengan gradientes de sobre-elevación del agua del mar sobre el estrán,

sólamente mide unos acarreos potenciales, no efectivos.

Los modelos de cálculo más usuales:

- No consideran transportes transversales, hacia o desde mar adentro, que debilitan o aumentan, en mucho, las cantidades de áridos transportados por corrientes de deriva.

- Ni las disponibilidades reales de áridos, desde unas fuentes determinadas de aportes.

Por ello, estos cálculos indican posibles capacidades , no transportes reales.

Las medidas más fiables se basan en observaciones empíricas, mediante trampas sedimentarias, o en efectos de depósitos resultantes.

De acuerdo con Kraus et al. (1989), el grado de ajuste de las medidas empíricas de transportes dependerá de los diseños:

- del instrumentaje (trampas),
- y de los puntos y momentos de muestreo.

Los últimos aspectos se deben acoplar:

- a criterios estadísticos, y
- a específicas circunstancias oceanológicas.

A pesar de estas consideraciones, en los proyectos de intervención en un litoral, sobre todo cuando afectan a playas arenosas, se calculan capacidades de transporte, sólo a partir de una información del clima marítimo y de las características batimétricas del fondo. Para ello, se utilizan, preferentemente, dos modelos empíricos-teóricos:

- El Método del flujo de energía, desarrollado en el "Shore Protection Manual" (1984), del C.E.R.C.

- Y el Método de Galvin.

En el primero, tiene una fuerte apoyatura teórica, complementada con importantes relaciones empíricas. Este requiere una serie de datos bastantes precisos, sobre el oleaje que incide en la zona.

Mediante este método, se llega a la expresión:

$$Q\left(m^3/año\right) = 3589000 H_b^{5/2} \operatorname{sen}(2\alpha_b)$$

H_b se refiere a la altura media de las olas, de unas determinadas condiciones oceanológicas, en la zona de rompientes, y α al ángulo que forman las crestas del oleaje promediado, en cuestión, con la orilla, extrapolado a esa zona.

Para la aplicación práctica del método, se han de calcular las probabilidades de presentación, por separado, en tantos por uno:

- de las alturas de ola, para cada dirección significativa incidente del oleaje, y
- de las capacidades de transporte, de sentidos contrarios.

La capacidad neta de transporte corresponderá a una sumatoria, donde cada sumando:

- tendrá el signo positivo, o negativo, según que el sentido del transporte coincida, o no, con el de aguas abajo, respectivamente,

- y vendrá afectado por los coeficientes de probabilidad de presentación, en sus dobles aspectos.

El Método de Galvin precisa de una información menos exhaustiva. Proporciona un límite superior de la capacidad de transporte, con base a una predicción de tipo empírico.

Para aplicar este método, sólamente es necesario conocer la media anual de la altura rompiente. Esta altura se puede estimar, con cierta aproximación, a partir de las que dan una boya, a profundidad indefinida. Para tal estimación, se puede utilizar la Tablas de Wiegel, recogidas en el "Shore Protection

Manual" (1984), en una serie de aproximaciones iterativas. Las pautas a seguir, en los cálculos, se encuentran explicadas en el capítulo del Clima Marítimo.

Los resultados de ensayos y observaciones sobre la realidad, que fundamentan este método, se sintetizan en la expresión:

$$Q\left({yardas^3}/{año} \right) = 2\left(10^5 H_b^2\right.$$

4. DIAGRAMAS DE CORRIENTES Y DE TRANSPORTES SEDIMENTARIOS EN PLAYAS.

El estudio de los diagramas de corrientes y transportes en las playas se precisan:

- Para conocer y comprender procesos de acreción y erosión sedimentaria, con sus efectos, dentro de estos dominios.

- Para proponer determinadas obras marítimas, como pequeños apeaderos, de embarcaciones de envergaduras reducidas, en los ambientes de playas arenosas, sin que aparezcan perturbaciones sensibles, en los transportes y depósitos de áridos.

- Para analizar los impactos físicos de cualquier obra marítima intra-playa.

- Y para prever localizaciones de peligrosidad, para el uso de baño, por potenciales corrientes de retorno.

Las corrientes y transportes en playas se clasifican en dos grandes grupos:

- corrientes y transportes por incidencia oblicua del oleaje, estando ausentes, significativamente, procesos de sobre-elevaciones del agua del mar sobre el estrán, y

- corrientes y transportes por gradientes de sobre-elevaciones del agua del mar sobre el estrán, con la ausencia de barras emergentes y diques exentos.

Los diagramas de corrientes y de transporte en playas consisten en representaciones gráficas de los mismos, para unas circunstancias determinadas. Estos se deducen, empíricamente con las huellas que dejan: con análisis granulométricos, de muestras de arenas intermareales, tomadas sistemática y adecuadamente, en el espacio y en el tiempo.

Para aplicar el método granulométrico, se precisa diseñar radiales en las playas en seguimiento, programar campañas de campo, que coincidan con situaciones de bajamar, preferiblemente en mareas vivas, y muestrear en puntos medios intermareales, en los radiales previamente diseñados. Al mismo tiempo, se deben anotar las características del oleaje, antes y en el momento de la toma de muestras.

Se opta por el parámetro Q_2, para medir los valores granulométricos, a emplear en el diseño de los diagramas de transporte.

Según la gráfica de Hjulström (1935), una progresiva disminución, o aumento, de la velocidad en una corriente, implica un transporte y una deposición de sedimentos, con diámetros cada vez más pequeños, o más grandes, respectivamente. Esto es, el sentido de caída, o crecimiento, del parámetro Q_2 puede servir para identificar el sentido de una corriente, que afecta, o ha afectado, al depósito de arenas, de una playa, en un intervalo determinado de tiempo.

Con dificultades, en esta zona de la playa, en el estrán, mediante correntímetros, se pueden verificar los diagramas de corrientes, que explican los de transporte.

a). Corrientes y transportes por incidencia oblicua del oleaje.

Se entiende por *corrientes de playa* (onshore currents) las inducidas por el oleaje, en, o una vez, rebasada la zona de rompientes. Estas se clasifican en:

- inshore currents,
- offshore currents, y
- longshore currents.

Para Del Moral (1980), los principales traslados de sedimentos, en las playas, se deben a estos tres tipos de corrientes. En esas circunstancias, se sustituyen los términos "corrientes" por transportes".

Las corrientes tipo "*inshore*" definen el movimiento del agua, desde la zona de rompientes a la orilla (protocorriente de aproximación).

Las corrientes tipo "*offshore*" (resaca) corresponden al flujo difuso de retorno del agua, desde la orilla a la zona de rompientes, según la línea de máxima pendiente del estrán.. El movimiento desaparece en la zona de rompientes. Está motivado por la necesidad de evacuación del volumen de agua sobrante, que ha sido empujado y acumulado contra la orilla.

Estos dos tipos de corrientes tienen lugar a lo largo de casi toda la longitud de la playa.

Las corrientes tipo "*longshore*" (corrientes de deriva) son aquellas que desplazan una masa de agua de mar, canalizada entre la zona de rompientes y la orilla. Si no intervienen singularidades dinámicas, las causas de estas corrientes están en la integración de protocorrientes en "zig - zag". Es decir, en la integración:

- de corrientes de avances, según la dirección de la incidencia del oleaje (inshore currents), y

- de corrientes de retroceso, según la dirección de la máxima pendiente del estrán (offshore currents).

La integración de las proto-corrientes sería una respuesta a la componente longitudinal de la dirección de aproximación del oleaje.

La velocidad de las corrientes de deriva depende, básicamente:

- de las características del oleaje, sobre todo de la altura (energía), y del ángulo de incidencia, y

- de la pendiente de la playa.

Longuet - Higgins (1970) predice la velocidad de deriva, en la línea de rotura, con la ecuación:

$$V_b = M_1 m (g H_b)^{1/2} Sen2\alpha_b$$

donde:

V_b = velocidad,
m = pendiente de la playa,
g = aceleración de la gravedad,
H_b = altura de la ola en la pendiente,
α_b = ángulo entre las crestas de las olas con la línea de rotura.
M_1 = 9.0. Es un coeficiente resultante de otros, en el que interviene, por ejemplo, la fricción.

Para la zona comprendida entre la rompiente y la orilla, se precisa modificar el valor de M_1, de la anterior ecuación. De acuerdo con el C.E.R.C. (1984), aquí el coeficiente toma el valor de 20.7.

La fórmula de Inman (1952) es también muy conocida. Esta se escribe como sigue:

$$V = \left[\left(\frac{1}{4x^2} + \right)^{0.5} - \frac{1}{2x} \right]^2$$

V = velocidad de la corriente (pies /seg.),
x = distancia al fondo,
y = C_b - senα_b,
C_b = velocidad de la ola en la rompiente en pies/seg.,
α_b = ángulo entre la línea de rotura y la orilla.

$$C_b = \sqrt{2.28 g H_b}$$

donde:

g = aceleración de la gravedad,
H_b = altura de la ola en la rompiente (en pies).

De esta expresiones, se deducen, de forma inmediata:

- que aumenta la velocidad con la energía de las olas (con la altura), y
- que esta velocidad tendería a ser nula para un oleaje de crestas paralelas a la orilla.

En general, y conforme con Pethict (1984), cuando las corrientes se originan por la oblicuidad del oleaje, pueden suceder dos casos. Que aparezcan:

- corrientes de deriva unidireccionales, con velocidades constantes, o
- corrientes de deriva unidireccionales, con velocidades que se incrementan, de forma progresiva, hacia las bases de rip currents, de aguas abajo.

En el segundo de los casos, y a lo largo de una playa de muchos kilómetros de longitud, sometida a un oleaje de incidencia uniforme en el espacio y en el tiempo, puede ocurrir que la deriva resultante (la corriente longitudinal integrada), para la totalidad del ambiente, sufra una caida de velocidad, aguas abajo. Los sucesivos rip currents, por sus "efectos barreras", serían los determinantes de la amortiguación progresiva de la velocidad promediada por tramos.

Por otra parte, gráficas de numerosos autores demuestran que la velocidad, de estas corrientes, no se mantiene constante a lo ancho del estrán, sino que decrece hacia la orilla, después de alcanzar un máximo en las proximidades de la línea de rotura. Además, en una misma sección perpendicular a la orilla, la velocidad cambia con la profundidad.

b). Corrientes y transportes por gradientes de sobre-elevaciones del agua del mar sobre el estrán.

Las sobre-elevaciones del agua tienen lugar en la zona de rompientes (surf o breaker zone) y entre ésta y la orilla (trough). Representan la transformación de parte de la energía cinética en energía potencial, en los procesos de rotura de las olas (Suárez Bores, 1978). De acuerdo con Savage (1957), Longuet-Higgins y Stewart (1960 y 1963) y otros, es una función de las características de las playas y de las olas

determinadas por el viento. Para Suárez Bores (1985), hay una relación directa, prácticamente una regresión lineal, entre la sobre-elevación y las alturas (energías) de las olas:

$$S = K.H$$

donde:

S = sobre-elevación,
H = altura de las olas,
K = una constante.

Una sobre-elevación se la puede considerar constante a lo ancho del estrán

Los gradientes de sobre-elevaciones originan corrientes paralelas a la orilla, cuyas velocidades decaen hacia el avance de las mismas (en el sentido en que disminuyen los gradientes).

Los transportes de áridos, por las corrientes de sobre-elevación, se denominan *shelter longshore transport* (corrientes de abrigo). Se encuentran descritas, entre otros, por Shepard (1967), Suárez Bores (1974-1978), Del Moral (1980) y Rice (1983).

Para Suárez Bores ((1978), la magnitud del transporte depende del valores que tomen el gradiente de sobre-elevación y la granulometría, y de las características geométricas de la playa. La expresión cualitativa sería:

$$Q_s = Q\,(V_s, l, i, \phi, D)$$

donde:

V_s = gradiente de sobre-elevación,
l = anchura de la playa,
i = pendiente de la playa,
ϕ = diámetro predominante de los sedimentos,
D = parámetro morfológico del fondo sedimentario.

Cuando actúan los gradientes de sobre-elevación, se infiere la tipología de corrientes , en dependencia:

- con las energías y direcciones de aproximación de los oleajes (dominantes y reinantes),
- con los fondos de los ambientes sedimentarios, y
- con las configuraciones fisiográficas, o por obras marítimas, de las plantas de las playas.

En ausencia de barras emergentes y diques exentos, se obtienen los siguientes modelos de diagramas de transporte, bastante operativos para la ordenación, planificación y manejo del litoral:

a) En playas rectilíneas.

Si un fondo somero tiene una topografía de valles y umbrales, las olas suelen presentar frentes sinuosos. Sobre los umbrales, los frentes del oleaje forman sinuosidades cóncavas, hacia tierra, al quedar las olas frenadas. En esas circunstancias, se dan convergencias en las direcciones de aproximación (energías), que determinan incrementos en las alturas de las olas, con sus consecuentes sobre-elevaciones relativas, en las zonas de rompientes y en el trough, y en relación con los sectores colindantes de playa. Los gradientes de sobre-elevación del nivel medio del mar favorecen, desde los puntos más altos, el inicio de las corrientes laterales de playa.

Los modelos de diagramas de corrientes se podrían clasificar como del tipo AO1

b). En playas en caleta, con ejes oblicuos a la dirección de aproximación del oleaje.

En el margen abierto a la dirección de aproximación del oleaje, las olas tienen más energía (altura), que en el resto de la playa, en donde estarían refractadas-difractadas, con las consecuentes pérdidas energéticas. Con ello, se establece un gradiente de sobre-elevación, que favorece el inicio de corrientes laterales de playa, hacia el margen protegido. Se describiría el modelo BO1, de diagramas de corrientes.

En el margen resguardado, también sería factible el inicio de corrientes laterales, cuando concurran dos circunstancias básicas:

- Que se den depósitos protegidos (Flor, 1978), que puedan llegar hasta la zona del estrán. Estos depósitos actúan de umbral , lo que a su vez implica una convergencia de direcciones de aproximación de las olas.

- Y que las olas refractadas-difractadas conserven las suficientes energías para crear, sobre el umbral, una mayor sobre-elevación, respecto a la zona colindante, hacia el sector subcentral (que haya otro gradiente de sobre-elevación).

Ahora se estaría ante un modelo BO2, que podría ser una evolución, en el tiempo del modelo BO1.

c). En una playa en caleta, con ejes paralelos a la dirección de aproximación del oleaje.

Mientras la zona central de la playa está abatida por las olas sin refractar-difractar, los márgenes reciben olas relativamente desviadas (menos energéticas). Así, se crea una sobre-elevación respecto a los márgenes, hacia donde se dirigen corrientes laterales. Se desarrollaría un modelo de diagrama de corrientes del tipo CO1.

Por otro lado, los márgenes, al tener unos abatimientos menos energéticos, pueden permitir el desarrollo de depósitos submareales protegidos, que actúan de umbrales. Si sobre esos umbrales llega un oleaje suficientemente energético, se producen aquí mayores sobre-elevaciones, que en los sectores subcentrales colindantes. Esto determina nuevos gradientes de sobre-elevación y, con ello, la posibilidad de que se formen otras corrientes laterales, desde esos márgenes hacia los sectores subcentrales. Ahora se estaría ante un modelo CO2, que podría ser una evolución, en el tiempo, del modelo CO1.

El modelo CO1 se podría relacionar con las células cerradas de circulación de corrientes, en la zona comprendida entre la orilla y la rompiente, para los casos de incidencia casi normal del oleaje. Esta células han sido investigadas por Sonu (1972) y Nakamura (1976).

Como se ha visto, las corrientes de playa, por gradientes de sobre-elevación, vienen condicionadas por la intensidad y dirección de las olas, en conjunción con el entorno fisiográfico. Luego, resulta lógico que el régimen direccional del oleaje, es decir, la función de distribución (probabilidad de presentación/altura de las olas significantes, en una cierta dirección) sea uno de los factores decisivos en la configuración morfológica (entiéndase la distribución de sedimentos) de la playa.

Diseños parecidos de diagramas de corrientes, en playas, abundan en la bibliografía, aunque aquí, lo novedoso es la sistematización, jerarquización y explicación, dentro de unos procesos sedimentarios. Se pueden citar las siguientes verificaciones bibliográficas:

- Short (1985) para los modelos AO1, CO1 y BO1.
- U.S. Army 1950) para el modelo AO1.
- Dubois (1985) para el modelo AO1.
- Sonu (1972) y Nakamura et al. (1976) para el modelo CO2.

En el entorno geográfico de la Isla de Gran Canaria (España), se observan, mediante medidas (distribuciones de Q_2 de las arenas intermareales, debidamente interpretadas), los distintos modelos de diagramas descritos de corrientes y de transportes (Martínez, 1986).

5. LAS CORRIENTES DE RETORNO (RIP CURRENTS).

Las corrientes de retorno (rip currents) se definen como desplazamientos continuos de agua, perpendiculares a la costa, hacia mar adentro, que atraviesan la zona de rompientes, si es que no surgen aquí.

Esta corrientes tienen una características peculiares. De acuerdo con el Department of the Army (1950), Mackenzie (1958), Shepard (1967) y Del Moral (1980), entre otros, tales características se resumen de la siguiente manera:

1. Están motivadas, en general, por la necesidad de evacuación del exceso de agua del mar, que se acumula contra la costa.

2. Morfológicamente consisten en corrientes "en chorro concentrado", muy bien definidas, que terminan en expansiones. El penacho de disipación se denomina "cabeza de la corriente".

3. La formación y espaciado de las corrientes de retorno dependen de condicionantes topográficas, geomorfológicas, sedimentológicas y de oceanografía física:

    - Topográficamente se forman en algunos puntos bajos de la costa.

    - En las bahías, normalmente se desarrollan en el centro de las mismas, siempre que hayan unos condiciones físicas adecuadas.

    - Y en playas rectilíneas de arenas, el espaciado de las corrientes dependerá del estado del mar. Con las olas de tormenta, se producen escasas corrientes, pero muy potentes, mientras que con olas más pequeñas, se originan numerosas corrientes, pero poco potentes.

4. En las playas, las corrientes de retorno se extienden desde la superficie hasta el fondo. Pero mar adentro sólo llegan a ser corrientes superficiales.

5. Inicialmente, fluyen a lo largo de canales labrados por las mismas corrientes. A veces, los lados son muy abruptos, y presentan potencias métricas. En bajamar, en la zona intermareal arenosa, y en algunas circunstancias, se observan estos canales.

6. Las corrientes pueden alcanzar longitudes extremas de varios kilómetros. Las anchuras son variables, en decenas de metros, y se miden velocidades de hasta 2 ó 3 metros por segundo. Estas magnitudes dependen de los condicionantes de las corrientes.

7. Con frecuencia, resulta fácil reconocer una corriente de retorno, si tiene lugar en una playa arenosa. Por lo general, sobre la corriente, las olas no rompen tan activamente como en sus alrededores, debido a la mayor profundidad del agua. Por otra parte, pequeñas olas de corto periodo pueden romper más lejos. Además, las corrientes ponen en suspensión sedimentos, con los que se forman aguas turbias, que se extienden a lo largo del curso de la corriente, en contraste con el agua más limpia a ambos lados.

Las corrientes de retorno se clasifican, según Short (1985), en:

- rip currents de erosión, y
- rip currents de acreción.

De acuerdo con este autor, estos dos tipos de corrientes se pueden describir como sigue:

Las *corrientes de retorno de erosión son las que acompañan a los procesos de erosión de una playa, en periodos de temporales.* Constituyen el principal mecanismo para el transporte de los sedimentos, hacia mar adentro. En condiciones extremas, pueden depositarlos a más de un kilómetro.

Estas corrientes se inician en pleamares. Se encuentran ampliamente espaciadas en las playas. Se incrementan en tamaño e intensidad, aunque disminuyen en número, con el crecimiento de las olas. Sus persistencias, tanto en el espacio como en el tiempo, resultan altamente variables. Mantienen sus localizaciones sólamente desde unas horas a varios días, excepto cuando están controladas topográficamente. Desaparecen cuando la playa ha alcanzado una situación completa de erosión (playa disipativa en grado extremo).

Casos particulares de rip currents de erosión son las corrientes denominadas "mega rip currents". se tratan de corrientes a gran escala, de más de un kilómetro de longitud, controladas topográficamente. Se encuentran alimentadas por longshore currents. se relacionan con playas en situaciones completamente disipativas.

Las *corrientes de retorno de acreción* se definen como aquellas que acompañan normalmente a los procesos de acreción, en playas que suelen desarrollar barras.

Con frecuencia, estas otras corrientes siguen, en el tiempo, a las de erosión. Son más estrechas y menos intensas que las de erosión. Pueden quedar encajonadas con el crecimiento topográfico de la playa. Prevalecen relativamente, tanto en el espacio como en el tiempo, durante condiciones de olas estables, o de decaimiento energético. Si se prolongan las condiciones favorables de oleaje, las corrientes mantienen sus localizaciones desde varios dias a semanas, e incluso a meses. Desaparecen en la marea baja, cuando sus canales se colmatan. Durante marea alta y con temporales, estos rip currents son susceptibles de destruirse.

Corrientes parecidas a las de retorno se localizan en inlets y a lo largo de los canales, que fragmentan a barras emergentes, paralelas a la orilla (corrientes de desagüe).

6. LAS PLAYAS COMO SISTEMAS SEDIMENTARIOS ABIERTOS Y CERRADOS.

En el estudio de los procesos y efectos físicos en playas arenosas, las identificaciones de los ambientes sedimentarios como abiertos o cerrados pueden ser muy necesarios.

De acuerdo con la terminología americana, se entiende como *sistema cerrado* una playa en la que los procesos de erosión y acreción representan transportes de los áridos entre el estrán y su playa sumergida. En los *sistemas abiertos*, los procesos de acreción, en gran medida, responden a aportaciones desde fuera de la playa, y los de erosión comprenden evacuaciones hacia otros entornos.

En el lenguaje de la ingeniería española de costas, los sistemas cerrados son equivalentes a los "estáticos" y los abiertos a los "dinámicos".

En litorales donde queden excluidos los carbonatos como componentes terrígenos:

- Los sistemas cerrados se caracterizan en que los fragmentos de rocas, sin nuevas aportaciones externas significativas, sufren un continuo proceso de abrasión, con lo que disminuyen, progresivamente, sus valores granulométricos. Sin embargo, estos sistemas están abiertos a aportaciones biológicas, que proporcionan, inicialmente, áridos gruesos. De ahí que los mayores contenidos en carbonatos estén en las fracciones de mayores valores granulométricos.

- En cambio, los sistemas abiertos contienen una importante proporción de fragmentos de roca, procedentes, periódicamente, dentro de ciclos sedimentarios cortos, de relieves litorales, externos a las playas, que representan ámbitos energéticamente agitados. Ésto hace que tales fragmentos sean relativamente gruesos, y explican caidas de los contenidos en carbonatos organógenos, en las fracciones más gruesas de las arenas, de muestras totales. Las mayores concentraciones de carbonatos se suelen encontrar, ahora, en las fracciones medias.

Luego, en los litorales, sin terrígenos carbonatados, las identificaciones sencillas y rápidas de las playas arenosas, como sistemas abiertos o cerrados, se obtienen a partir de la interpretación de la distribución de los contenidos de carbonatos organógenos, en muestras totales de arena, debidamente muestreadas en el estrán, y en el tiempo.

7. CONCEPTO DE PROVINCIA MORFODINÁMICA.

La delimitación del concepto de provincia morfodinámica se hace en conjunción con:

- las identificaciones de las fuentes de aportes de áridos.
- y con el tipo de litoral (de transporte libre o impedido).

Se entiende por provincia morfodinámica, en solapamiento con el concepto de "unidad fisiográfica", de Enriquez y Berenguer (1986), a un conjunto de playas arenosas, dependientes unidireccionalmente, y respecto a los procesos y efectos sedimentarios, de manera tal que, si se interviene físicamente en una de ellas, habrán repercusiones en los depósitos de arena de las restantes, aguas abajo.

Entre el conjunto de playas, de una provincia, se tienen qùe dar una dependencia sedimentaria, por transportes próximos y paralelos a la orilla. Una provincia morfodinámica negativa sería aquella en donde no se puedan establecer estas dependencias.
De acuerdo con Komar (1988), en las delimitaciones de las provincias morfodinámicas, se sigue una metodología basada:

- En las caracterizaciones de las arenas: mineralógicas-petrológicas, morfoscópicas y otras.

- En los diagramas de transportes, que hacen dependientes a las playas, y que explican las caracterizaciones de sus arenas, incluidas las tendencias de las distribuciones mineralógicas.

- Y en la descripción del marco litológico del litoral, como fuente de aportes sedimentarios.

Este concepto permite deducir, entre otras muchas cosas, los posibles alcances, las áreas de influencia, de los impactos físicos, de las intervenciones, que se realizaran en el litoral.

CAPÍTULO 8

LAS CLASIFICACIONES MORFOLÓGICAS GENÉTICAS DE LAS PLAYAS.

ESQUEMA:

1. El contexto de las clasificaciones genéticas de las playas.
2. Premisas de partida de la Clasificación Morfológica Genética de Suárez Bores (1978).
3. Análisis en planta de las playas. Las singularidades.
4. Esquematización de las singularidades.
5. Las posiciones de equilibrio de las orillas, tras los análisis en planta de las playas.
6. Análisis en perfil de las playas.
7. Esquematización de los subíndices y superíndices.
8. Combinatoria de posibilidades.
9. Metodología para la clasificación de una playa.

1. EL CONTEXTO DE LAS CLASIFICACIONES GENÉTICAS DE LAS PLAYAS.

Las clasificaciones genéticas se basan, fundamentalmente, en aquellas variables, dependencias y condicionantes que controlan la dinámica de los depósitos sedimentarios, en los diferentes tipos de playas (playas en concha, encajadas, estables, incompletas, en etapa erosiva, abiertas, etc.). Entre estas variables, dependencias y condicionantes, se incluyen los contornos fisiográficos, u de obras marítimas, con sus localizaciones y orientaciones geográficas.

Las clasificaciones genéticas forman tres grandes grupos:

- las morfológicas,
- las morfodinámicas, y
- las climáticas,

si bien no hay unos límites claros entre ellas.

En las clasificaciones morfológicas, se analizan las playas en planta y en perfil, para determinar y caracterizar las variables, dependencias y condicionantes, que intervienen en los depósitos sedimentarios. Entre estas, se pueden inventariar, a título de ejemplos:

- Las formas naturales y/o estructuras fijas del entorno.
- El clima marítimo, modificado (difractado y/o refractado, o no, por las formas y/o estructuras del entorno.
- Y, en relación con las dos anteriores, el sistema general circulatorio en la playa, con su diagrama de transporte.

Las clasificaciones morfodinámicas parten:

- De unos conceptos hidrodinámicos, respecto al oleaje que interviene directamente en la dinámica sedimentaria de las playas.

- Y de observaciones de la morfología, que determina la hidrodinámica en los depósitos de áridos.

Las clasificaciones climáticas se basan en unas variables geográficas (localizaciones y orientaciones de los ambientes sedimentarios) y en el clima marítimo incidente, con toda su hidrodinámica.

2. PREMISAS DE PARTIDA DE LA CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA GENÉTICA DE SUÁREZ BORES (1978).

La clasificación morfodinámica más genuina se debe a Suárez Bores (1978). Esta se sustenta en tres premisas básicas:

- La dinámica litoral depende, sobre todo, de un oleaje determinado por vientos dominantes. Casi siempre , el papel de las mareas está limitado.

- Se deducen formas modeladas directamente por la dinámica litoral. El modelado de los depósitos de arenas es una consecuencia de los procesos de acreción y erosión.

- Los procesos sedimentarios en playas, condicionados por la dinámica litoral, normalmente son reversibles.

Pero además, arranca de un equilibrio entre los transportes Q_α y Q_s . Se tiene que cumplir que:

$$Q_\alpha + Q_s = 0$$

donde:

Q_α = transporte de deriva, por incidencia oblicua del oleaje,
Q_s = transporte por gradiente de sobre-elevación del agua del mar sobre el estrán.

Para que se den estas condiciones de equilibrio, los dos transportes deben presentar signos contrarios. Para que ello ocurra, la orilla tiende a evolucionar, geométricamente, de una forma determinada. Y así puede aparecer un Q_α , con signo contrario a un Q_s . Considérese, para entender este equilibrio, la geometría de la orilla de un tómbolo, respecto a la dirección de incidencia del oleaje dominante.

En realidad, la Clasificación de Suárez Bores pretende identificar las leyes interdependientes de la Naturaleza, de carácter probabilístico, que condicionan a los depósitos sedimentarios.

Aunque la Clasificación de Suárez Bores se refiere únicamente a las playas originadas por un oleaje dominante, no obstante hay otras, dependientes, significativamente, de otras variables y condicionantes oceanológicas, como son las mareas astronómicas y las mareas meteorológicas.

Se denominan playas complejas aquellas en las que intervienen, con pesos específicos, aparte de un oleaje dominante, una o algunas de estas otras variables y condicionantes.

3. ANÁLISIS EN PLANTA DE LAS PLAYAS. LAS SINGULARIDADES.

Las plantas de las playas se discuten de acuerdo con las denominadas "singularidades". Estas se definen como discontinuidades o limitaciones laterales de las playas. Se simbolizan, de forma genérica, con una "S".

Las singularidades se clasifican en:

- geométricas,
- dinámicas,
- másicas, y
- climáticas.

Existe la posibilidad de que una playa carezca de singularidades. En ese caso, la playa se denomina como "*abierta*" y se simboliza con una "O".

a). Singularidades geométricas.

Se entienden por singularidades geométricas las estructuras o accidentes del relieve, en o desde la línea de costa, que delimitan lateralmente a los depósitos de playa. En definitiva, se tratan de cambios bruscos y pronunciados en la orientación de la orilla.

Estas singularidades pueden ser:

- positivas, o
- negativas.

Las singularidades *geométricas positivas* consisten en unos obstáculos laterales de las playas, llamados "*apoyos*", representados por promomtorios en acantilados, a modo de espigones naturales, obras marítimas fijas u otros accidentes. Se simbolizan mediante una "G".

Se emplea la terminología de "*playas apoyadas*", y de "*bancos de arenas apoyados*", para los depósitos originados por las singularidades geométricas positivas, ubicadas aguas abajo..

Una playa delimitada por dos apoyos se califica como "*encajada*", o "*en bolsillo*". Las orillas, en esas playas, suelen ser rectilíneas, en sus tramos centrales, a no ser que los entornos fisiográficos impongan otras pautas.

Por lo general, en una playa en bolsillo, la distancia óptima de separación, entre los dos apoyos, debe ser de 1 a 3 veces la distancia de penetración. En caso contrario:

- Si la separación es exigua (menor a una vez la distancia de penetración), se potencian corrientes de retorno (rip currents). Esto originaría una evacuación de áridos de la orilla, y sus posibles desvíos hacia profundidades poco activas. La playa se encontraría en inestabilidad sedimentaria.

- Y si la separación es mayor a tres veces la penetración, cabe prever la aparición de irregularidades, en la configuración de la planta, en su sector de barlomar, que queda más desprotegido.

De todas maneras, se recomienda que las penetraciones de los apoyos sean lo menos profundas posible, para que no repercutan, en mucho, en los transportes de deriva.

Las singularidades *geométricas negativas* indican cambios bruscos, pero convexos mirados desde el mar, en la dirección de la línea de costa. Se simbolizan mediante una "g". Pueden implicar la aparición de "flechas" (playas sostenidas).

Se entienden por *flechas* los depósitos de playa, que progresan por superposiciones laterales de escamas sedimentarias, aguas abajo, a partir de un cambio brusco en la dirección de la orilla. Para que se formen flechas, los balances sedimentarios, en la zona, tienen que ser positivos:

$$Q_1 > Q_2$$

donde:

Q_1 = cantidad de áridos que entran a través de un perfil de control, y
Q_2 = cantidad de áridos que salen a través de un segundo perfil de control.

No caben descartar playas delimitadas por singularidades geométricas de signos contrarios. Entonces, se define una playa de fórmula "gG", según el sentido de aguas abajo. .

b). Singularidades dinámicas.

Las estructuras fijas paralelas a la orilla y hacia mar adentro (barras rocosas emergentes y diques exentos) se llaman *abrigos*. Estos:

- Producen perturbaciones locales en el oleaje, como difracciones en la dirección de aproximación. Con la difracción, se consume energía, que implica que las olas tengan menores alturas.

- Y se desarrollarían distintas sobre-elevaciones. Las zonas abiertas alcanzan mayores sobre-elevaciones que la zona, o zonas protegidas (abrigadas). En un ambiente de playa arenosa, estos gradientes provocan "corrientes de abrigo", capacitadas para transportar áridos, lo largo del estrán. Las velocidades de las corrientes estarán en función de los anteriores gradientes y de las características de las playas, y disminuirán progresivamente hacia las zonas resguardadas.

En la zona abrigada de una playa, por la pérdida de la capacidad de transporte de las corrientes de abrigo (Q_s puede llegar a tener un valor cero), se depositan los áridos. Las deposiciones crecerán desde la orilla hacia el abrigo, que puede llegar a abrazarlo, y quedar unido a la playa. En definitiva, se desarrollaría un tómbolo.

Se entiende por "*tómbolo*" depósitos de playa, que han progresado desde una orilla hasta una estructura emergente (natural o artificial), paralela a la orilla, mar adentro. Un "*hemitómbolo*" es un depósito de áridos, emergido o sumergido, desde una orilla hacia mar adentro, que tiende a desarrollarse como tómbolo, o ha sido una respuesta a esa tendencia.

Los abrigos, que determinan deposiciones de playa, por caida de los valores de la función Q_s reciben las denominaciones de "*singularidades dinámicas*"

El sentido de los transportes por gradientes de sobre-elevación , coincide, y queda verificado, con el de la progresiva disminución de los valores granulométricos (de Q_2 , por ejemplo) de las arenas.

Una singularidad *dinámica positiva* sería un abrigo que genera una corriente y un transporte, por gradientes de sobre-elevación, en el sentido de la componente longitudinal, de la descomposición vectorial del oleaje incidente dominante. Se simboliza con una "D". Cuando ese sentido es el contrario al de la componente longitudinal, se tiene una singularidad *dinámica negativa*, que se simboliza mediante una "d".

En las playas abrigadas, por adecuadas estructuras fijas, pueden ocurrir dos alternativas simples:

- Que una singularidad dinámica se encuentre en una posición subcentral.

- Que pares de singularidades dinámicas, enfrentadas lateralmente, delimiten bocanas subcentrales (una por playa, como únicas aberturas).

En el primer caso, se forman, real o potencialmente, un tómbolo. La formación sedimentaria responde a deposiciones determinadas por una singularidad dinámica positiva (depósito de barlomar) y por una singularidad dinámica negativa (depósito de sotamar). Si se escribe la secuencia de símbolos de las singularidades dinámicas, que intervienen, en el sentido de la componente longitudinal del oleaje, esa playa, con un tómbolo, se ajusta a la fórmula "Dd".

En el segundo caso, se desarrollan, por lo menos potencialmente, playas con plantas en "concha", que comprenden:

- un arco central, y
- dos márgenes.

En relación con la dirección de aproximación de las olas, uno de estos márgenes es de barlomar, y la singularidad dinámica que lo abriga lleva la simbología positiva (D). el otro margen corresponde a depósitos de sotamar, y está abrigado por una singularidad dinámica negativa (d). En el sentido de la componente longitudinal del oleaje, una playa en concha adquiere la formulación "dD".

Pero para que estas singularidades dinámicas den los efectos apetecidos, en los procesos sedimentarios (atrapamiento de áridos y sus distribuciones), se tiene que cumplir unas determinadas parametrizaciones. En el supuesto de que intervenga un sólo abrigo, en posición central, se abordarían la siguiente secuencia de aspectos, entre otros, a tener en cuenta:

- Las relaciones geométricas existentes, más importantes, para la formación y estabilidad de hemitómbolos y tómbolos. Según Suárez Bores (1992), esas relaciones dependen de una serie de variables, tales como el periodo y la longitud de onda de las olas, y la profundidad y pendiente de la playa, entre otras. En principio, se podría admitir que se favorecería la formación de depósitos si la longitud del abrigo es tres veces la distancia a la orilla. Sin embargo, a partir de unas cinco veces esta distancia, aparecerían serios problemas en el depósito. Cuando dista mucho de la orilla (cuando la longitud es reducida respecto a su separación del borde del mar) no se forman depósitos sedimentarios.

- Las respuestas de la línea de costa, ante estas relaciones geométricas. Por ejemplo, la relación entre lo que avanza la orilla y la longitud del abrigo, cuando se favorece la formación de un hemitómbolo, pero no de un tómbolo. La anterior relación da un valor en torno a 0.35, según Berenguer y Enriquez (1988).

- Y los perfiles afectados por el abrigo. Se trataría de delimitar espacialmente, de forma operativa, los efectos directos, en la planta de la playa.

Si hay dos abrigos, lateralmente enfrentados, Berenguer y Enriquez (1988) establecen esta otra relación empírica:

$$A_o = 2A_i$$

donde:

A_o = distancia que separa a los centros geométricos de los abrigos.
A_1 = distancia entre la orilla y el centro geométrico de la bocana.

Esta nueva relación geométrica se mide en litorales sometidos:

- a rangos muy bajos de marea (menores a 20 centímetros), y

- a características oceanológicas promediadas del oleaje, que recuerdan a las del Mediterráneo español.

La orilla, que queda enfrentada a la bocana de este par de abrigos, describe casi en arco de circunferencia, pero de un recorrido muy corto, de acuerdo con un ajuste, que utilice la espiral logarítmica de Yasso (1965), y cuando concurran ciertas circunstancias geométricas muy restringidas. Para esta configuración, el condicionante geométrico más decisivo es la situación del polo de la espiral: debe estar cerca del centro de la bocana,

Según Suárez Bores (1978), si las singularidades dinámicas enfrentadas se apoyan, en sus extremos, en el relieve circundante, los márgenes, o sus prolongaciones potenciales, de los depósitos de playa, forman ángulos próximos a los 45 grados, respecto a sus respectivos abrigos, en el dominio de la bocana.

En el proyecto de una playa artificial, con estructuras de apoyo y de abrigo, pero estas últimas de acuerdo con la fórmula "dD", para llegar a situaciones de máxima estabilidad, en los depósitos de áridos, las singularidades geométricas positivas se emplazarían siguiendo las pautas de los potenciales radios marginales, que definen las condiciones naturales de equilibrio. Si los apoyos fueran ortogonales, respecto a los abrigos, los tramos externos de los márgenes caerían dentro de zonas sedimentarias inestables.

c). Singularidades másicas.

Estas singularidades se refieren a los aportes o evacuaciones puntuales de sedimentos, en el litoral.

Las singularidades *másicas positivas* traducen aportes significativos, en áreas muy reducidas, como en la desembocadura de quebradas, barrancos o ríos. Se simbolizan mediante una "M".

Las singularidades *másicas negativas* definen importantes evacuaciones de áridos, también en áreas muy reducidas. Los cañones submarinos, dragados, explotaciones de arenas, entre otros, son ejemplos de estas singularidades. Se simbolizan con una "m".

d). Singularidades climáticas.

Definen la creación de playas por la convergencia de dos dinámicas. Estas aportan sedimentos desde distintas procedencias. Ejemplo: una playa alimentada por dos mares, que se comunican.

La singularidad siempre es positiva. No se han observado casos negativos. Se simboliza mediante una "C".

4. ESQUEMATIZACIÓN DE LAS SINGULARIDADES.

Las singularidades descritas se pueden esquematizar de la siguiente manera (tabla 7):

Tipo de singularidad	Símbolos de singularidades positivas	Denominaciones de singularidades positivas	Símbolos de singularidades negativas	Denominaciones de singularidades negativas
geométricas	G	apoyo	g	Implican la aparición de Tómbolos
dinámicas	D	abrigo de barlomar	d	abrigo de sotamar
másicas	M	aportes puntuales	m	evacuaciones puntuales
climáticas	C	encuentro de dos dinámicas		
Ausencia de singularidades: playa abierta. Simbología: O				

Tabla 7

Esquematización de las singularidades, de la Clasificación Genética de Playas, de Suárez Bores (1978).

5. LAS POSICIONES DE EQUILIBRIO DE LAS ORILLAS, TRAS LOS ANÁLISIS EN PLANTA DE LAS PLAYAS.

Independientemente de las tendencias que implican los análisis en planta de la Clasificación de Suárez Bores (1978), las tendencias a posiciones de equilibrio se pueden analizar, entre otras alternativas, conforme:

- el ajuste por el modelo empírico de la espiral logarítmica,
- los modelos oceanológicos de Sánchez Arcilla (1984), y
- los análisis tridimensionales de Garau (1993).

Aquí, se desarrolla la primera de las tres alternativas reseñadas, por su fácil aplicabilidad a casos reales.

En playas arenosas, con transporte impedido, dentro de un litoral con singularidades geométricas positivas y dinámicas, la configuración de una orilla de equilibrio se puede ajustar a una curva geométrica, según criterios totalmente empíricos.

Para muchos autores, entre ellos Sánchez Arcilla (1984), el método carece de fundamento científico, y sólo sería válido a nivel de prediseño.

De todas las curvas propuestas de ajuste, quizás la *Espiral Logarítmica de Yasso* (1965) sea la que permite los resultados más satisfactorios. Por ello, cabe utilizarla, en una primera aproximación, en el diseño de la forma de equilibrio.

El fundamento del ajuste se basa en lo siguiente: La cresta del oleaje, en rompientes, tras haber experimentado refracción y difracción, sobre una costa teórica, en "plano inclinado", se asemeja notablemente a una espiral logarítmica, por lo que la línea de costa también debe hacerlo. Esta configuración de equilibrio supone que no haya aporte longitudinal "efectivo" de sedimentos, cosa que es coherente en una playa ubicada en un litoral de transporte impedido:

- por promontorios naturales, u
- por obras marítimas,

que impliquen el conjunto de refracciones y difracciones del oleaje.

Pero esta justificación, de la configuración de una orilla, se debe encuadrar en un contexto más amplio, dentro del ambiente de playa, que no obvie el equilibrio entre los transportes Q_α y Q_s.

En un litoral transporte impedido, no tienen porque estar ausentes los Q_α, aunque sólo sus campos de actuación se reduzcan al ambiente playero.

La Espiral Logarítmica de Yasso (1965) toma la expresión:

$$\frac{r_2}{r_1} = e^{\delta \cdot c\,\mathrm{tg}\alpha}$$

donde:

r = radios desde el polo de la curva de la orilla,
r_1 y r_2 = radios extremos, que delimitan el tramo de orilla en estudio, y donde α toma un mismo valor,
α = ángulos que forman las tangentes a la curva con los radios, y
δ = ángulos que forman los radios r_1 y r_2.

Para un ángulo determinado de δ, puede ocurrir que α sea igual a 90 grados. En esas circunstancias, el tramo de curva en cuestión de la espiral logarítmica, se corresponde con un arco de circunferencia.

En el caso de playas delimitadas por dos promontorios (headlands), que determinen playas encajadas (en bolsillo), y en los supuestos de que no exista ningún aporte "efectivo" sedimentario longitudinal, y que se comporte como sistemas cerrados, Sánchez Arcilla (1984) desarrolla la utilización de la Espiral Logarítmica de Yasso (1965), en combinación con un ábaco empírico de Silvester (1970).

Este ábaco relaciona:

- el ángulo de la espiral,
- un ángulo β, y
- el parámetro a/b.

Se establecen que β, a y b son observaciones, o estimaciones, fáciles de obtener:

β = ángulo entre la "línea de control", AA´, con la cresta del oleaje incidente. El extremo A´ se sitúa en la cabecera del promontorio de aguas abajo. El extremo A se encontrará en la cabecera del otro promontorio.

a = máxima identación de la costa.

b = distancia de separación entre los promontorios.

La configuración de la orilla, en este tipo de playas, se rige:

- en su tramo de costa, de aguas arriba, según la espiral logarítmica,

- y en su tramo de costa, de aguas abajo, de acuerdo con el ángulo β, medido a partir de la recta AA´, en el extremo "A" de esta.

El valor de β se calcula con comodidad, conforme con:

- los datos promediados del clima marítimo, y
- el trazado geométrico de AA´, que es fijo para la playa que se estudia o diseña.

A partir de β, y con el empleo del ábaco, se halla directamente los valores de α y de a/b.

Como "b" es otra constante geométrica, propia del ambiente, se puede estimar, de forma inmediata, la máxima identación de la orilla, el valor "a".

Conocida esta identación más interna, que puede alcanzar la orilla, se calculan las configuraciones en planta, que se ajustarán a la espiral logarítmica y al ángulo β, según se consideren los tramos de aguas arriba o de aguas abajo, respectivamente.

El problema está en saber ubicar el polo de la espiral, para configurar, con exactitud, la planta de playa, del tramo de aguas arriba. En principio, se juega con un polo en posición central, respecto a la recta AA´.

Las playas, a las que se ha aplicado esta metodología de configuraciones de planta, de Sánchez Arcilla, coinciden con las artificiales, delimitadas:

- lateralmente por espigones emergentes, y
- en perfil por sustentaciones, que determinen el bloqueo de los aportes sedimentarios.

Sánchez Arcilla (1984) distingue dos casos en la evolución de la orilla, según la playa tenga, o no, un volumen suficiente de arenas.

En el primer caso, la orilla adopta su configuración de equilibrio. Se puede calcular, con sencillez, su retroceso previsible, la identación "b".

En el segundo caso, "*bahías en cúspide*", la línea de costa está imposibilitada para conseguir una configuración de equilibrio. En el estudio morfológico, se toma, como línea de control, la recta que une el promontorio, de aguas arriba, punto A, con la intersección entre la playa y el promontorio de aguas abajo, punto B.

Si la playa es sometida a una alimentación artificial, con lo que aumenta el volumen de los sedimentos, el ángulo β disminuye, y de acuerdo con el ábaco de Silvester (1970):

- el parámetro a/b decrece, y
- el ángulo α crece.

De proseguir la alimentación artificial, el ángulo α se aproxima, cada vez más, al valor de 90 grados. Según el modelo de la espiral logarítmica, la configuración de la orilla, en su tramo de aguas arriba, tiende, progresivamente, a ajustarse a un arco de circunferencia.

En la situación límite, de que la bahía se colmatara totalmente, el segundo espigón quedaría rebasado, y la orilla se adaptaría a una configuración de equilibrio, en dependencia con la costa adyacente.

Berenguer y Enriquez (1988) aplican los ajustes por la espiral logarítmica, a un conjunto de 10 playas artificiales, del litoral mediterráneo español, dentro de un estudio que pretendía obtener criterios prácticos, en el diseño de playas.

Las playas en cuestión:

- Están condicionadas por singularidades dinámicas adyacentes.

- Están sometidas a unas características oceanológicas (mareas y oleajes) análogas, a grandes rasgos. Según esto, los autores excluyen, en el estudio, a tales variables.

- Y siguen la relación:

$$A_o = 2A_1$$

donde A_0 es la distancia entre los centros geométricos de dos diques exentos adyacentes, y A_1 se refiere a la distancia entre la nueva orilla y el centro del espacio, que delimitan los diques exentos adyacentes.

Para que la anterior relación configure orillas casi en arcos de circunferencia, de cuerdo con un ajuste basado en la Espiral Logarítmica de Yasso (1965), estos autores llegan a los siguientes resultados:

- Los polos de las espirales logarítmicas están siempre situados cerca del centro del espacio, entre diques exentos adyacentes.

- Y los valores del ángulo δ no rebasan los cinco grados. Es decir, que el segmento de orilla, que se ajusta a una circunferencia, es, relativamente, pequeño.

Obviamente, con este estudio, no hay, de entrada, importantes aportaciones válidas para el diseño de playas artificiales. Además, los resultados están, en principio, restringidos a determinados escenarios geográficos. No se deberían extrapolar a otras playas, ubicadas en lugares con características oceanológicas marcadamente diferentes.

6. ANÁLISIS EN PERFIL DE LAS PLAYAS.

Se caracterizan no todos los perfiles, que se puedan diseñar, de forma significativa, en una playa, sino el perfil representativo, o promediado, del ambiente sedimentario.

La identificaciones, denominaciones y descripciones, de las características en cuestión, se expresan mediante unos subíndices y unos superíndices.

1). Subíndices referentes a la naturaleza granulométrica del fondo.

Una playa se denomina *homogénea* cuando está formada por materiales pertenecientes a un mismo rango granulométrico:

- exclusivamente de gravas y/o cantos, o
- de arenas.

En esas circunstancias, las singularidades llevarán por subíndice el dígito "0".

Una playa *heterogénea* está formada por materiales pertenecientes a los dos rangos granulométricos. Por ejemplo:

- playa de gravas - cantos y arenas,
- playa de gravas y arenas, o
- playa de cantos y arenas.

Las singularidades tendrán el subíndice "1".

2). Subíndices referentes al tipo de perfil.

El perfil completo de una playa, de fondos móviles de arenas, gravillas y/o gravas, consta de dos curvas cóncavas, hacia arriba, unidas por el "punto" de rotura del oleaje.

El punto de rotura es, en realidad, una banda, que se denomina "*breaker zone*".

Los fondos de fangos, cantos y/o bloques no se ajustan a este tipo de perfil.

La curvatura más externa define a la playa sumergida. Su pendiente crece progresivamente, hasta el punto de rotura. La curvatura más interna recibe la denominación de "*estrán*", y se corresponde, en su mayor parte, con la zona intermareal.

- Que un perfil completo esté delimitado externamente por resalte topográfico sumergido (afloramiento rocoso u obra marítima). Se dice entonces que la playa está "*sustentada*", o mejor, "*contenida*".

  En un ciclo sedimentario corto, aproximadamente anual, las posiciones de las rompientes oscilan. Casi siempre, las rompientes son más externas en los periodos erosivos. Estas oscilaciones provocan cambios morfológicos en la doble concavidad. Con la retirada, hacia mar adentro, del punto de rotura, se reprofundiza la concavidad más interna, pero los áridos evacuados se depositan en la concavidad externa, sobre todo si la playa se comporta como un sistema sedimentario cerrado. En los periodos de acreción, ocurre todo lo contrario. En todo momento, los perfiles tienden a estar en equilibrio con las condiciones que imponen los oleajes, que dejen sentir sus efectos en profundidad, entre otras variables. La acción del oleaje fácilmente alcanza los 10 - 15 metros de profundidad. Pero si las playas están contenidas, al quedar fijas las posiciones más externas, se debilitan, en mucho, las evoluciones de los perfiles, en ciclos sedimentarios cortos. En general, en el diseño de playas artificiales, la contención se requiere para costas con mucha inclinación.

  Los perfiles sustentados se simbolizan mediante el subíndice "3".

- Que el perfil esté *incompleto*. Esto ocurre ante determinados límites superiores, como son los acantilados, que pueden impedir el desarrollo del estrán, aunque no una playa sumergida. Los perfiles incompletos se simbolizan mediante el subíndice "4", y definen a *playas submarinas*.

3). Superíndices.

Se refieren a los balances sedimentarios netos en un perfil, en relación con la totalidad del ambiente de la playa activa, sometida a la acción del oleaje (estrán más playa sumergida), y conforme con observaciones de series temporales significativas de datos.

Los balances sedimentarios netos se estiman en razón a diferencias entre ganancias y pérdidas. Se evalúan, cuantitativamente, con métodos topográficos, que implican:

- el levantamiento de perfiles, previamente situados en croquis,
- el seguimiento sistemático de los mismos, y
- el cálculo de cubicajes.

En las estimaciones indirectas, aparte de la utilización de otros procedimientos, se pueden utilizar las observaciones, y sus contrastes posicionales en el tiempo, de la orilla de una playa, sobre adecuadas fotografías aéreas verticales.

Una playa está en *estabilidad* cuando no hay ganancias ni pérdidas netas de sedimentos. Este carácter del depósito se indica con el superíndices "0".

Se dice que hay *hiper-estabilidad* en una playa cuando las ganancias superan a las pérdidas. Se producen ganancias netas. Se utiliza, como superíndices, el número 1.

La playa se encuentra en *inestabilidad* cuando las pérdidas superan a las ganancias. Hay pérdidas netas. En este caso, el superíndices es el número 2.

7. ESQUEMATIZACIÓN DE LOS SUBÍNDICES Y SUPERÍNDICES.

Los subíndices y superíndices descritos se pueden esquematizar de la siguiente manera (tabla 8):

Subíndices		
Criterios	**Símbolos**	**Denominación**
naturaleza granulométrica del fondo	o 1	homogénea heterogénea
tipo de perfil	0 2 3 4	completa hipercompleta contenida (sustentada) incompleta (playa submarina)
Superíndices		
balance sedimentario neto	0 1 2	estable hiper-estable inestable

Tabla 8

Esquematización de los subíndices y de los superíndices, de la Clasificación Genética de las Playas, de Suárez Bores (1978).

8. COMBINATORIA DE POSIBILIDADES.

Si se aplica la combinatoria matemática a los elementos, que configuran genéticamente a las playas, se calculan bastantes miles de modalidades diferentes.

En una primera fase, los cálculos se hacen tanto para las plantas como para las características de los perfiles transversales, aunque por separado. Posteriormente, se combinan las posibilidades de plantas con las de perfiles.

a). Combinatoria referente a las plantas de las playas.

1. Cabe la posibilidad de que, en una playa, no se identifique ninguna modalidad de singularidad (*playa abierta*). Lleva por símbolo una "O".

2. Las "*playas simples*" están condicionadas por una sóla singularidad.

   Se identifican siete tipos diferentes de playas, definidas, o condicionadas, por una de las siguientes singularidades:

   - G (geométrica positiva),
   - g (geométrica negativa).
   - D (dinámica positiva),
   - d (dinámica negativa),
   - M (másica positiva),
   - m (másica negativa), y
   - C (climática).

3. Se entiende por "*playas dobles*" aquellas en las que intervienen dos singularidades iguales.

   Las playas pertenecerán a una de las siguientes modalidades:

   - GG (encajada),
   - DD (playa con dos abrigos de barlomar),
   - dd (playa con dos abrigos de sotamar),
   - MM (másica de frente deltaico doble), y
   - mm (playa con una doble evacuación de áridos).

4. Las "*playas mixtas*" son aquellas en las que intervienen dos singularidades diferentes.

   Si no intervienen alimentaciones artificiales de áridos, y si se excluyen situaciones de incompatibilidades, que impidan deposiciones por transportes de deriva, o de sobre-elevación, las playas "naturales" pertenecerán a una de las siguientes variaciones binarias:

   Mm, mM, MG, Mg, gG, GM, gM, gm, DG, DM, Dm, dM, gD, dG, dg, Dd, dD.

   Cada variación, corresponde a una clase de modalidad.

5. Las playas pueden contener más de dos singularidades. En estos casos, se dan dos alternativas:

   - Que intervenga un única variedad de singularidad. Se estaría ante una "*playa múltiple*", en sentido estricto.

   - Que intervengan singularidades diferentes. Las playas ya se clasifican como "*mixta múltiple*".

6. Se amplia el número de modalidades de playas, si se considera el área de acción, o eficacia (total o parcial) de las singularidades, en playas simples o superiores (dobles, mixtas, etc.).

b). Combinatoria referente a los perfiles transversales.

Se trabaja, por separado, con los subíndices y con los superíndices.

De acuerdo con los análisis de los subíndices, en cortes transversales de las playas, son posibles las siguientes alternativas, si se excluyen las incompatibilidades:

- playa homogénea completa,
- playa homogénea completa contenida (sustentada),
- playa homogénea incompleta,
- playa homogénea incompleta contenida (sustentada),
- playa homogénea hipercompleta,
- playa homogénea hipercompleta contenida (sustentada),
- playa heterogénea completa,
- playa heterogénea completa contenida (sustentada),
- playa heterogénea incompleta,
- playa heterogénea incompleta contenida (sustentada),
- playa heterogénea hipercompleta, y
- playa heterogénea hipercompleta contenida (sustentada).

Una playa incompleta carece de estrán, por lo general. Cuando ocurre esto, y si no está contenida, recibe la denominación de "*submarina*". Por ejemplo: playa homogénea submarina.

A su vez, cada una de las alternativas formuladas, se inscriben en una situación de:

- hiper-estabilidad,
- estabilidad, o
- inestabilidad.

Las características de estos perfiles se mantendrán:

- en la totalidad de la playa, o
- en parte de la misma, según una descripción longitudinal,

con lo que sigue aumentando el número de posibilidades.

9. METODOLOGÍA PARA LA CLASIFICACIÓN DE UNA PLAYA.

En la formulación de una playa, se siguen los siguientes pasos:

1. Se identifican las singularidades, en relación con el oleaje dominante, y se expresan mediante sus símbolos. La secuencia de símbolos se escriben en el sentido de la componente longitudinal (paralela a la orilla), de la dirección de aproximación de las olas.

2. Los subíndices se colocan a la derecha de la secuencia de las singularidades.

3. El primer subíndice hace referencia a la naturaleza granulométrica del fondo.

4. El segundo subíndice, y separado del precedente por una coma, define el tipo de perfil.

5. Si el perfil está contenido (sustentado), el subíndice que lo indica aparece en posición central-simétrica, entre los símbolos de las singularidades, que delimitan a la sustentación lateralmente.

6. El superíndices, que caracteriza el balance sedimentario neto, se coloca también a la derecha de la secuencia de las singularidades. Se indicará el área de eficacia del balance sedimentario estimado (si afecta a todo, o a una parte del perfil).

7. Se debe hacer una traducción específica de la fórmula obtenida. Por ejemplo, la expresión:

$$G(m, M)G^{0}_{1,0}$$

se podría traducir como una playa de doble apoyo (encajada), en la que esporádicamente se explotan sus arenas y llegan aportes de desembocadura de un barranco, de fondo heterogéneo (arenas, gravas y cantos), de perfil completo y estable, a partir de una serie temporal significativa de balances sedimentarios, para la totalidad de la playa.

CAPÍTULO 9

LAS CLASIFICACIONES MORFODINÁMICAS DE LAS PLAYAS.

ESQUEMA:

1. Resumen conceptual.
2. La hidrodinámica del oleaje incidente, en relación con la morfodinámica de los depósitos de áridos.
3. Los estadios morfodinámicos de las playas arenosas.
4. Identificación de los estadios morfodinámicos de las playas arenosas, por las características topográficas de los depósitos más internos, sometidos a la hidrodinámica del oleaje.
5. El transporte transversal, en el marco de los estadios morfodinámicos de las playas arenosas.
6. Las barras de los comportamientos morfodinámicos de las playas arenosas.
7. Los cusps y sus relaciones con la morfodinámica de las playas arenosas.

1. RESUMEN CONCEPTUAL.

La clasificación morfodinámica más representativa se debe Wright y Short (1983). Estos investigadores identifican y discuten los distintos modelos morfodinámicos, que se suceden, a lo largo del tiempo, durante ciclos sedimentarios cortos, en las playas arenosas, mediante un seguimiento:

- de las pendientes de los perfiles topográficos,
- de las evoluciones de las barras sumergidas, y
- de determinadas formas menores sedimentarias, fundamentalmente los cusps.

En realidad, se juega:

- Con conceptos hidrodinámicos, en relación con el oleaje, que interviene directamente en la dinámica sedimentaria de las playas.

- Y con observaciones de la morfología, que determina esta hidrodinámica, en los depósitos sedimentarios.

La clasificación morfodinámica:

- Describe la evolución sedimentaria de las playas, a lo largo de ciclos cortos, alrededor de un año. Cada ciclo queda definido por las dos más importantes y consecutivas acreciones, o erosiones.

- Y establecen dos estadios extremos (playas disipativas y reflectivas), y cuatro intermedios.

Las playas. potencialmente, evolucionan entre los dos estadios extremos. No obstante, se dan los casos en que los ambientes sedimentarios se encuentran bloqueados alrededor de determinados estadios, más o menos próximos a uno de los estadios límites.

El estadio disipativo se corresponde con el periodo en el que el ambiente de playa intermareal y sumergido, más interno, sufre la mayor descarga sedimentaria. Físicamente, la playa está sometida a una fuerte energía del oleaje, que se disipa sobre el depósito de arenas. Toma dominancia las oscilaciones infragravitatorias, entre las ondas atrapadas o de borde.

Por lo contrario, el estadio reflectivo traduce las máximas ganancias de arenas, en los dominios internos de las playas, que están sometidos a poca energía del oleaje. Esta se refleja mar adentro. En este caso, domina las oscilaciones sub-armónicas.

Puede suceder que una misma playa, dentro de un mismo periodo de tiempo, sectorialmente tenga comportamientos morfodinámicos diferentes.

La clasificación morfodinámica de las playas tiene sentido en litorales sometidos a rangos considerables de mareas, en principio, a partir de 0.4 metros.

2. LA HIDRODINÁMICA DEL OLEAJE INCIDENTE, EN RELACIÓN CON LA MORFODINÁMICA DE LOS DEPÓSITOS DE ÁRIDOS.

En una playa, suele observarse un oleaje que, según su rotura, se clasifica en cuatro tipos básicos:

- en decrestamiento (spilling),
- en voluta (plunging),
- en colapso (collapsing), y
- de oscilación (surging).

Esta clasificación fue propuesta, inicialmente, por Galvin (1968), y está recogida por numerosos autores, por ejemplo, por Pethick (1984) y Komar (1976).

Se entiende por *oleaje en decrestamiento* cuando la rotura consiste en un deslizamiento "espumoso" de la cresta, a lo largo del declive frontal. Tiene lugar en playas tendidas, de arenas finas.

Las *olas en voluta* definen un desplome, hacia adelante, de las crestas, al retrasarse las bases de las mismas. Describen unos típicos tubos longitudinales. Se desarrollan en playas de pendientes medias.

En las *olas en colapso* hay un desplome de las crestas en la vertical. Las bases no soportan el peso de las elevaciones de agua.

Se producen *olas de oscilación* cuando estas no rompen. El movimiento ondulatorio retorna hacia el mar, después de llegar a la línea de costa. Tienen lugar en playas muy inclinadas.

De acuerdo con Losada (1986), entre otros autores, la forma de rotura está controlada por el parámetro adimensional conocido como el "*número de Iribarren*". Éste adquiere la expresión:

$$Ir = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sqrt{H_b / L_0}}$$

donde:

α = pendiente de la playa,
H_b = altura de la ola en la pendiente,
L_o = longitud de onda.

Se observa que cuando:

Ir < 0.5 ⇒ rotura en decrestamiento,
0.5 < Ir < 2.0 ⇒ rotura en voluta, y
2.0 < Ir ⇒ rotura en colapso u oscilación.

Los americanos prácticamente invierten el Número de Iribarren, y obtienen el "*Parámetro de Surf*". Guza e Inman (1975) expresan este parámetro de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{a_b w^2}{cg\,\mathrm{tg}^2\,\beta}$$

donde:

a_b = altura del oleaje en la rompiente,
w = frecuencia de la ola incidente,
c = celeración (velocidad) de la ola,
g = aceleración de la gravedad, y
β = pendiente de la playa.

Cuando:

$\varepsilon < 1.0 \Rightarrow$ una playa con oleaje de oscilación. Hay una "completa" reflexión de la energía, por lo que no se transfiere al ambiente sedimentario en cuestión, entre la orilla y el límite activo de la playa sumergida.

$1.0 < \varepsilon < 2.0 \Rightarrow$ en la playa sigue el predominio del oleaje de oscilación, aunque hay una cierta transferencia de energía al ambiente.

$2.0 < \varepsilon < 2.5 \Rightarrow$ una playa con rotura del oleaje en voluta. Se transfiere una parte significativa de la energía al ambiente sedimentario.

$\varepsilon > 2.5 \Rightarrow$ una playa con rotura del oleaje en decrestamiento. La energía se disipa, y queda transferida al ambiente sedimentario en su "totalidad".

Se puede admitir que la transferencia de la energía del oleaje, tras su rotura, puede representar desde un 100% (con las olas en decrestamiento) a casi un 0% (con las olas de oscilación). Entre estos dos casos extremos, se da toda una gama de situaciones intermedias. En principio, las olas en voluta transfieren un 70% y las de colapso un 30%.

La energía que se transfiere queda "retenida" en la playa. Esta energía determina la formación de *oscilaciones atrapadas*, llamadas también *de borde* (edge wave), que comprenden:

- ondas infragravitatorias, y
- ondas sub-armónicas.

Estas forman parte de una expresión, con dos componentes de propagación:

- componente "y", según la dirección longitudinal de la playa, y
- componente "x", según la dirección transversal.

La ecuación de la superficie libre, respecto al nivel medio del mar en reposo, asociada a estas propagaciones atrapadas, contiene cuatro elementos:

η (x,y,t)	=	(módulo)	propagación exponencial en el eje "x"		(fase)		propagación cosenoidal en el eje "y"

Numéricamente, de acuerdo con Holman (1983), se expresa como sigue:

$$\eta(x, y, t) = aL_n^*(2k_1x)e^{-kx}\cos(k_2y - \rho t) \qquad (1)$$

donde:

η (x,y,t) = superficie libre en los ejes "x" e "y", para un tiempo t (forma de la onda),
a = amplitud de la oscilación en la orilla,
x = coordenada offshore (transversal),
y = coordenada longshore (longitudinal),
L_n^* = Polinomios de Laguerre, de orden n,
k_1 = número de onda en el eje "x"
k_2 = número de onda en el eje "y",
ρ = frecuencia angular de la oscilación atrapada.

Se entiende por "*superficie libre*" la que queda delimitada entre la curva de la oscilación y el nivel medio del mar en reposo.

Por otra parte:

$$k = 2\pi / L \qquad (2)$$

$$\rho = 2\pi / T \qquad (3)$$

donde:

L = longitud de onda, y
T = periodo.

Si:

$$\phi(x) = L_n^*(2k_1)e^{-kx} \qquad (4)$$

la función ϕ (x) toma las expresiones de la tabla 9, para los cuatro primeros órdenes del Polinomio de Laguerre.

n	$\phi(x)$
0	$[1\ ]e^{-kx}$
1	$[1 - 2kx\ ]e^{-kx}$
2	$[1 - 4kx + 2k^2x^2\ ]e^{-kx}$
3	$[1 - 6kx + 6k^2x^2 - (4/3)k^3x^3\ ]e^{-kx}$

Tabla 9

Primeras expresiones del Polinomio de Laguerre.

La expresión general descrita (1):

- Es válida en el supuesto de una playa ideal, de pendiente plana y uniforme.
- E implica una propagación en "amortiguación progresiva" en el eje "x", al estar condicionada por una función exponencial. En el eje "y" no ocurre esta amortiguación.

Las *oscilaciones infragravitatorias* corresponden a la propagación exponencial en el eje "x". Se caracterizan por su amplio periodo (normalmente entre 200 y 300 segundos).

Las *oscilaciones sub-armónicas* representan a la propagación cosenoidal, en el eje "y". Sus periodos son relativamente cortos, en torno a 2T, en relación con el de las olas incidentes.

Con los oleajes en decrestamiento, las oscilaciones infragravitatorias son las que adquieren identidad, y carecen de importancia las sub-armónicas. Con oleajes de oscilación, se invierte la situación. Con los restantes oleajes, coexisten, significativamente, estos dos tipos de oscilaciones.

Los rangos de marea, en convergencia con las características de las topografías intermareales afectadas, pueden incidir en el desarrollo de una u otra componente, de las oscilaciones atrapadas. En efecto:

- Con fuertes carreras de marea, las oscilaciones infragravitatorias suelen estar relacionadas con un oleaje en bajamar, ya que, en esas condiciones, las olas inciden en topografías más suaves, que podrían permitir roturas en decrestamiento.
- En cambio, con pleamares, en coincidencia con fuertes mareas, el oleaje podría llegar a dominios de pendientes relativamente más pronunciadas, y cabe la posibilidad de que adquiera un comportamiento de oscilación, que favorecería el protagonismo de las oscilaciones sub-armónicas.

Las ondas infragravitatorias explican un transporte de áridos, por el fondo, desde la zona intermareal a la playa sumergida. En un ambiente ideal, sin transporte libre, estos sedimentos posteriormente retornarán al estrán y cerrarán el ciclo de transporte. En cierta manera, se define un sistema sedimentario cerrado, donde habrá:

- Un transporte hacia la playa sumergida, cuando predomina las ondas infragravitatorias-armónicas.

- Y un transporte hacia el estrán, cuando predominan las ondas sub-armómicas.

Estas ondas atrapadas, además:

- Determinan la formación de estructuras sedimentarias (formas menores), tales como los cusps, con toda la información que proporcionan, para la interpretación de la dinámica sedimentaria.

- Y contribuyen al diseño de clasificaciones de las playas arenosas, donde las "formas" de los depósitos de áridos son respuestas de la hidrodinámica, que implica estas oscilaciones.

En relación con la morfodinámica de las playas arenosas, conviene tener también presente el *Parámetro de Dean*, propuesto por este autor en 1973, para el oleaje. Este parámetro se expresa con la fórmula:

$$\Omega = \frac{H_b}{TW}$$

donde:

H_b = altura de la ola en la rompiente,
T = periodo de la ola, y
W = velocidad de caida del sedimento.

Los valores de este parámetro:

- disminuyen cuando la playa se encuentra en acreción (en un estadio "reflectivo"),

- mientras aumentan durante las condiciones de erosión (en un estadio "disipativo" de la energía del oleaje).

3. LOS ESTADIOS MORFODINÁMICOS DE LAS PLAYAS ARENOSAS.

Wright y Short (1979 - 1985) sintetizan el comportamiento de las playas en una serie de esquemas. Estos:

1. Están restringidos a ambientes:

   - normalmente sometidas a fuertes acarreos de mareas, por lo general, por encima de los 0.4 metros, y

   - de arenas relativamente finas.

2. Permiten una clasificación genética de los depósitos de áridos, en cuanto que aislan a unas variables, que controlan la dinámica sedimentaria.

3. Relacionan:

   - las variables hidrodinámicas de las playas, y
   - las morfologías de los depósitos sedimentarios.

4. Describen la evolución de los depósitos de áridos, a lo largo de ciclos cortos (aproximadamente anuales).

5. Y establecen dos estadios extremos (playas disipativas y reflectivas), y cuatro intermedios.

a) Las playas disipativas.

El estadio disipativo de una playa se ajusta a las siguientes características:

1. Se describe un perfil transversal tendido, con posibles movimientos en "bisagra". Las pendientes son inferiores a un 3.75 %.

2. El anterior perfil justifica que predomine un oleaje en decrestamiento, en un amplio dominio (centenas de metros), denominado disipativo. El Parámetro de Surf debe ser mayor a 2.5

3. Está sometida a una fuerte energía de oleaje, que se disipa en el ambiente sedimentario. De aquí el nombre de "estadio disipativo". Hay transferencias de energías.

4. En el estrán, las arenas son las más gruesas del ciclo evolutivo.

5. Se desarrollan dos tipos de corrientes transversales:

   - Las determinadas por el flujo de las olas incidentes (en las capas superiores),
   - y las asociadas con las ondas infragravitatorias (en las capas superiores).

   Desde la orilla hacia mar abierto, pero dentro del ambiente de playa, decrecen, progresivamente, las corrientes infragravitatorias.

6. Hay un importante transporte de sedimentos, desde la zona intermareal hacia la playa sumergida. Este transporte se debe al flujo dependiente de la componente "x" de las ondas atrapadas (componente infragravitatoria). Así, se explica el proceso de erosión de la playa.

   Por la tendencia negativa de estas arenas transportadas, relativamente gruesas, a pasar a suspensión, no se favorece un transporte hacia la orilla, por el flujo de las capas superiores, en la masa acuosa.

7. Y, a consecuencia del referido transporte, la barra o barras reales, o potenciales, se destruyen. Dejan de existir. Esto explica, a su vez, que el perfil transversal sea tendido.

b). Las playas reflectivas.

En cambio, en este otro límite evolutivo:

1. Hay una barra totalmente soldada a la playa. La fuerte pendiente del nuevo estrán, y del inicio de la playa sumergida, corresponden a la cara externa de esta barra, que ya forma parte de la berma.

2. La pendiente intermareal más interna suele superar el 8.75%. Describe movimientos transversales en bisagra.

3. La anterior pendiente determina el desarrollo de un oleaje fundamentalmente de oscilación, en un dominio reducido (decenas de metros), denominado reflectivo. El Parámetro de Surf es inferior a 2.0, por lo menos teóricamente.

4. La playa está sometida a poca energía del oleaje. Esta se refleja hacia mar adentro, lo que da nombre a este estadio.

5. Está ausente un significativo transporte sedimentario, desde la zona intermareal hacia la playa sumergida, ya que prácticamente no existen ondas infragravitatorias en el dominio sedimentario.

6. Se pueden desarrollar estructuras sedimentarias de "cusps", pero más apretadas que en las playas próximas a la disipativas. Los espaciados suelen estar entre los 15 y 25 metros. Se localizan en la parte más interna de la franja intermareal (la correspondiente al dominio reflectivo).

En la formación de los cusps interviene la componente "y" de las ondas atrapadas (la componente sub-armónica).

7. Y la playa seca alcanza la mayor amplitud del ciclo evolutivo.

Cuando una playa llega a un estadio reflectivo, suelen cesar los procesos más internos de aportes sedimentarios, por dos causas principales:

- El oleaje llega a sus niveles energéticos más bajos, del ciclo sedimentario corto, por lo que pierde su capacidad efectiva como para suponer un mecanismo de transporte.

- Y el perfil que adquiere el estrán , después de la soldarse la barra, hace que el transporte sedimentario requiera una energía adicional, que ya no se da. Este requerimiento energético se precisa para vencer el incremento de la fuerza gravitatoria, que supone el aumento de la pendiente, en la playa.

En estas playas comienza la erosión cuando el Parámetro del Oleaje de Dean (1973), Ω, es mayor que 1.0 según Wright y Short (1983).

c). Las playas intermedias.

En estas playas, el oleaje suele romper en voluta. El Parámetro de Surf, en una primera aproximación, toma valores entre 2.0 y 2.5, que son los límites internos de los valores correspondientes a las playas disipativas y reflectivas, respectivamente.

La presencia de una barra, más o menos paralela a la orilla, hace que se establezca un recinto interno, denominado "*dominio resonante*". Las características geométricas del dominio resonante (la hidrodinámica y la dinámica sedimentaria) permiten describir cuatro tipos de estadios intermedios, con rasgos específicos. A estos estadios se les asignan las siglas "b", "c" , "d" y "e".

Todas las playas intermedias tienen en común:

- desarrollos de rip currents,

- coexistencia de los dominios disipativo y reflectivo, en dependencia, sucesivamente, con bajamares y pleamares,

- perfiles transversales con movimientos "en acordeón".

Playas del tipo b.

Presentan las siguientes características:

1. Respecto al estadio disipativo, la orilla sufre un retroceso, y hay incrementos de pendientes, sobre todo en el estrán y en la playa sumergida próxima, como consecuencias, en parte, de una erosión "interna atrapada" (entre la línea de costa y la barra). La erosión se puede relacionar con las corrientes dependientes de las ondas infragravitatorias, y/o con removilizaciones de un oleaje "reflectivo" de alta energía, en el dominio reflectivo.

2. Se identifica una barra longitudinal sumergida significativa, por aportes sedimentarios procedentes:

   - de la erosión interna atrapada, y

   - de los procesos de transferencia, desde mar adentro, si se está en la evolución tendente a estadios más reflectivos.

La barra tiene una morfología uniforme.

3. Se forman estructuras sedimentarias en cusps, de alta marea, en las que interviene la componente "y" de las ondas atrapadas (la componente sub-armónica).

Playas del tipo c.

Las características de estos ambientes son:

1. Prosigue el retroceso generalizado de la orilla, y los incrementos de pendientes en el estrán y en la playa sumergida próxima, por las "erosiones atrapadas".

2. En la orilla, se forman "mega cusps", que dan configuración a la planta interna de la playa. Se inician por las oscilaciones sub-armónicas de un oleaje energético, de periodos grandes. Las formas menores dibujan una sucesión de salientes y entrantes. Se podría admitir que:

   - Los entrantes, hacia tierra, se acentúan por los efectos erosivos de una serie de pequeños rip currents, que se localizan a lo largo de la playa, precisamente condicionados por los gradientes de sobre-elevación, del nivel medio del agua del mar, sobre el estrán, que determinan los propios cusps.

   - Mientras que los salientes corresponden a posiciones residuales de la antigua orilla, entre rip currents.

3. La barra:

   - Crece en altura.

   - Se desplaza hacia la línea de costa, principalmente por los aportes desde la playa sumergida externa.

   - Y se desarrolla salientes hacia tierra, quizás por una redistribución divergente lateral de los aportes, que llegan desde la playa interna, mediante los rip currents del sistema general circulatorio.

Playas del tipo d.

Se pueden enumerar seis grupos de características:

1. Se estabiliza la línea de costa, al decaer el transporte "infragravitatorio" y las removilizaciones por la reflexión del oleaje, en el dominio reflectivo. El oleaje es ya bastante poco energético.

2. Disminuyen las pendientes del estrán y de la playa sumergida próxima, frente a los sectores de barra, entre salientes. Ésto se debe a la deposición sedimentaria en la base de los rip currents (Pethicks, 1984), que han perdido capacidad de transporte.

3. Aumenta la pendiente del estrán frente a los salientes de la barra, quizás:

   - por la "erosión interna atrapada",
   - y por el transporte de las corrientes longitudinales, que se agotan en los rip currents.

4. La barra sigue desplazándose hacia la línea de costa.

5. Los salientes de la barra crecen en su conjunto y emergen en marea baja. Forman las denominadas barras transversales.

6. Se debilitan las estructuras sedimentarias definidas como los mega - cusps, al disminuir el carácter erosivo de los rip currents, en la orilla interna, así como el transporte "infragravitatorio" de las oscilaciones atrapadas.

Playas del tipo e.

Las características de este estadio intermedio, muy próximo al reflectivo, se agrupan en cuatro apartados:

1. La línea de costa avanza ligeramente hacia el mar.

2. La barra se ensancha y se aproxima mucho a la línea de costa, por el progreso de los aportes sedimentarios. En marea baja:

   - Emerge en su totalidad.

   - Está soldada, parcialmente, al estrán. Las zonas de soldadura definen a las "*terrazas*".

   - Y estas terrazas delimitan, junto con la orilla, *depresiones (runnel)*, frecuentemente estrechas y someras, que coinciden con las bases de rip currents debilitados.

3. El estrán:

   - Mantiene la pendiente del estadio precedente, en los sectores enfrentados a las terrazas.

   - Y aumenta en las zonas de runnel, por el desarrollo de corrientes longitudinales, en dependencia, quizás, con las oscilaciones sub-armónicas.

4. Están muy desarrollados los cusps de marea alta, casi apretados. Estas formas menores atestiguan la presencia de oscilaciones sub-armónicas, que pueden sustentar un cierto transporte sedimentario.

d). Observaciones finales.

De todo lo anterior, se deduce que la identificación de una playa, con un estadio morfodinámico determinado, tiene sentido para un momento dado, y no para todo el ciclo sedimentario corto, en su conjunto.

Una playa, en sus evoluciones, durante ciclos sedimentarios cortos, con los incrementos y sucesivas caidas del poder energético de las olas, no tiene por qué recorrer todos los estadios intermedios, y pasar de situaciones límites disipativas a otras reflectivas. El ambiente puede evolucionar en torno a las situaciones límites, o dentro de los estadios intermedios.

También debe tenerse en cuenta que hay playas que evolucionan sin barras. Las arenas son transportadas y depositadas en láminas, a igual que en las flechas.

Los cambios morfodinámicos pueden ocurrir en cortos intervalos de tiempo. Para Suárez Bores (1981), la acción del oleaje rara vez determina una erosión mecánica continua. Generalmente un sólo temporal, de algunas horas de duración, puede producir una mayor erosión que un largo periodo de oleaje reinante. No obstante, se describen procesos importantes de erosión, sin ninguna relación con temporales significativos. Para estos casos, la explicación se sustenta en que una playa, inmediatamente después de haber alcanzado la máxima acreción, es muy susceptible a sufrir grandes pérdidas de arena, ante incrementos en la energía del oleaje, sin llegar a temporales (Martínez et al, 1989).

4. IDENTIFICACIÓN DE LOS ESTADIOS MORFODINÁMICOS DE LAS PLAYAS ARENOSAS, POR LAS CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DE LOS DEPÓSITOS MÁS INTERNOS, SOMETIDOS A LA HIDRODINÁMICA DEL OLEAJE.

Conforme con un análisis de pendientes de playas, hasta la zona de rompientes, expresado en una gráfica por Wright y Short (Komar, 1983), se puede establecer una aproximación de equivalencias entre:

- estadios morfodinámicos, y

- valores de las pendientes topográficas,

tal como se recoge en la tabla 10.

Pendientes más internas de playas arenosas, en porcentajes, sometidas a la hidrodinámica del oleaje.	**Estadio morfodinámico**
> 8.75	reflectivo
8.75 - 6.75	intermedio, tendente a reflectivo
6.75 - 5.25	intermedio, en sentido estricto
5.25 - 3.75	intermedio, tendente a disipativo
< 3.75	disipativo

Tabla 10

Tentativa de relaciones entre pendientes topográficas de franjas intermareales amplias y estadios morfodinámicos.

Estas relaciones pueden ser muy operativas, en un primer intento de clasificación de una playa arenosa, siempre:

- que se disponga de una serie temporal significativa de medidas topográficos, tomadas a intervalos de tiempos adecuados, y

- que la playa presente amplitudes intermareales amplias, que sean representativas de los efectos hidrodinámicos del oleaje, sobre el depósito de áridos.

Se obtienen inferencias aparentemente aceptables con amplitudes desde 50 metros intermareales emergidos, correspondientes a una franja, que permita los levantamientos topográficos, en mareas bajas vivas, a lo largo de las diferentes campañas de levantamientos topográficos.

5. EL TRANSPORTE TRANSVERSAL, EN EL MARCO DE LOS ESTADIOS MORFODINÁMICOS DE LAS PLAYAS ARENOSAS.

Bajo este epígrafe, se describen y analizan, de una forma específica, los transportes transversales de arenas, hacia mar adentro, independientemente de los ligados a los rip currents.

Estos transportes transversales están en íntima dependencia con la Clasificación Morfodinámica de Wright y Short, concretamente con los aspectos condicionados con las oscilaciones atrapadas. Pero además, entran en juego los comportamientos de las playas como sistemas sedimentarios abiertos o cerrados.

En principio, se puede enunciar que:

- Cuando en las oscilaciones atrapadas predomina el comportamiento sub-armónico, quedan favorecidos los transportes a lo largo de la orilla. Las formas menores en "cusps", en el depósito de arenas, muestran, empíricamente, las longitudes de onda, de las oscilaciones que desarrollan estos transportes.

- Mientras que cuando el componente significativo es las ondas infragravitatorias, tiene lugar el transporte transversal, con una caída exponencial (una amortiguación progresiva), hacia el mar.

La primera de estas dos circunstancias se da en las playas arenosas, que alcanzan, o se aproximan en mucho, al estadio reflectivo. El predominio de las ondas infragravitatorias aparece en el estadio disipativo, o en los intermedios, próximos a este.

¿Qué quiere decir todo esto?. Que hay que tener mucha precaución en la explotación de áridos, en playas sumergidas.

Si se explotan lo áridos de un banco arenoso sumergido, que sea el resultado, en buena medida, de los transportes infragravitatorios, pueden darse fuertes impactos físicos en el depósito más interno de la playa, sometido a la hidrodinámica del oleaje. Esto tendría lugar cuando la playa llegase al estadio reflectivo, dentro de su ciclo sedimentario corto, de aproximadamente un año. Habrían disminuido las potenciales disponibilidades de áridos, para las transferencias sedimentarias, hacia tierra. Estaría roto, en definitiva, el equilibrio de los balances sedimentarios, para el conjunto del ambiente. En la franja intermareal, se apreciarían situaciones deficitarias de arenas, con todas sus repercusiones, sobre todo, si la playa alimenta a formaciones eólicas de arena.

El problema se agravaría si la playa se comporta como un sistema sedimentario cerrado. Las extracciones de áridos no se compensarían, más tarde, por deposiciones de otros transportes, de aguas arriba.

Luego, frente a playas, que tengan comportamientos disipativos, se establecerá, muy bien, la distancia desde la orilla, a partir de la cual no se dejen sentir los efectos de los transportes transversales infragravitatorios. Pero al aumentar la distancia, aumenta la profundidad, y con ello, el coste de la explotación.

Por otra parte, conviene estimar las áreas de influencia de la explotación de áridos. Puede ocurrir que se extraigan arenas de fondos no enfrentados a playas disipativas, pero próximas a éstas. Por un "*efecto remontante de la excavación*", durante o después de la explotación, se puede llegar a los fondos activos de las playas disipativas, y, de esta manera, atentar a sus estabilidades sedimentarias.

Si se explotaran las arenas de un banco próximo a una playa, en cierta medida disipativa, cabría la posibilidad de que la excavación remontante, a menor o mayor plazo, llegase hasta el fondo activo de la playa en cuestión. Ello traería consigo que tuviera unas menores disponibilidades de arenas, cuando se dieran los mecanismos sedimentarios hacia estadios más reflectivos. Por otra parte, si su orilla se encontrara en progresivo retroceso, hacia tierra, precisaría de una mayor realimentación, desde sus dunas solidarias, en el supuesto que existieran, en un proceso tendente a la desaceleración de la erosión, en el depósito playero más interno. Pero esta aportación añadida, aparte de las propias, desde las dunas litorales, puede hacer no se eviten, o amortiguen, desequilibrios sedimentarios, en el conjunto de ambientes interdependientes, cuando aparezcan los temporales inusitados. En general, se puede deducir si un banco sumergido, a partir de una cierta distancia de la orilla, es físicamente adecuado, o no, para soportar la explotación de áridos.

Otro aspecto, a tener en cuenta, en la explotación de áridos, sería:

- Prever si se afectan, o no, a barras sumergidas, propias de las morfodinámicas de las playas.

- Y en el caso de que afectasen a estas barras, estimar las repercusiones que habrían en el depósito sedimentario playero, en general, y en la playa más interna, sometida a la hidrodinámica del oleaje, en particular.

6. LAS BARRAS DE LOS COMPORTAMIENTOS MORFODINÁMICOS DE LAS PLAYAS ARENOSAS.

En aparejamiento con las características morfodinámicas de las playas, se deben estudiar las barras sumergidas, entendidas como deposiciones longitudinales transitorias de arenas:

- desde mar adentro a la orilla,
- y viceversa,

en dependencia con evoluciones hacia estadios reflectivos y disipativos, respectivamente, de una playa.

Se puede llegar a la situación límite de la soldadura de éstas, con sub-ambientes intermareales.

El estudio de las barras arenosas interesa en cuanto:

- Suponen mecanismos tendentes a la "conservación de situaciones".

- Son fuentes de aportes o sumideros sedimentarios.

- Describen mecanismos de procesos de acreción - erosión de las playas, consideradas en su conjunto, como son las transferencias de áridos.

- Y representan contenciones (sustentaciones), que dan estabilidad a los perfiles de playa, cuando se encuentran dinámicamente bloqueadas, como ocurre con las barras recientes, más meridionales, del Maresme (Barcelona).

Por la tendencia a la *conservación de situaciones*:

- Estas formaciones dificultan el transporte transversal de sedimentos, hacia la orilla, en situaciones favorables a la acreción más interna de la playa, cuando disminuye la energía del oleaje. La causa está en que debilitan la energía de las olas. Hacen de filtro energético. Para que haya un transporte de áridos, la energía del oleaje debe rebasar específicos umbrales.

- Y, por lo contrario, en situaciones de erosión más interna, las barras también debilitan al oleaje, pero ahora para impedir la evacuación de la arena, desde la orilla.

Las transferencias de áridos describen la formación de sucesivas barras, cada vez más internas o externas, sin que se llegue a destruir las precedentes. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, en la Playa arenosa del Sardinero, en Santander (Merino, 1987). sin embargo, no se debe excluir las migraciones de barras, en sentido estricto.

En el caso de la Playa del Sardinero, la dinámica de "*transferencias de áridos*" se resume como sigue, para un ciclo corto sedimentario promediado:

Fase 1.

El proceso se inicia en invierno, a partir de una barra muy amplia, en su localización más externa, a una distancia ligeramente superior a los 700 metros de la orilla, y a más de -15 metros de profundidad.

Fase 2.

Alrededor del mes de mayo, se desarrolla una primera barra "migratoria", a unos 700 metros de la orilla. Tiene una cota batimétrica aproximada de -15 metros. Alcanza una potencia de unos 0.8 metros y una amplitud de unos 60 metros.

Fase 3.

Sobre el mes de junio, aparece otra barra, a unos 500 metros de la orilla. La cota batimétrica se sitúa ahora a unos -7 metros. La potencia y amplitud son análogas al caso anterior.

Fase 4.

En el mes de julio, la transferencia de arena da lugar a otra barra, a unos 200 metros de la orilla. Emerge unos 2 metros sobre el nivel del mar en pleamar. Determina un runnel. La cara interna de la barra soporta sucesivas superposiciones de capas de acreción.

Fase 5.

Normalmente a finales de julio e inicios de agosto, las capas de acreción colmatan el runnel. La barra queda soldada a la orilla. La playa seca aumenta su anchura entre unos 40 y 80 metros. El frente intermareal (cara externa de la barra soldada) alcanza una pendiente de un 8 %..

Fase 6.

La barra soldada se destruye en otoño, con el incremento del poder energético de las olas, que alcanzan alturas mayores a los 1.5 metros, en la rompiente.

En el transporte de las arenas, mar adentro, intervienen:

- La componente "x" de las ondas atrapadas (las oscilaciones infragravitatorias).

- Y los rip currents y corrientes litorales, quizás como los principales agentes , ya que la otra alternativa se amortigua progresivamente, mar adentro, y no puede llevar a las arenas a grandes distancias.

El resultado de este proceso erosivo sería la formación de la inicial amplia barra externa, cosa que se favorecería si la Playa se comportara como un sistema sedimentario cerrado, donde jugara un papel decisivo un transporte impedido.

7. LOS CUSPS Y SUS RELACIONES CON LA MORFODINÁMICA DE LAS PLAYAS ARENOSAS.

Se entiende por cusps unas estructuras sedimentarias primarias, en las zonas intermareales de playa, que describen unas alternancias de entrantes (vaguadas) y salientes (bancos o brazos), con los ejes perpendiculares a la línea de costa.

Según el eje longitudinal de una playa, las dimensiones oscilan desde los centímetros hasta las centenas de metros (Shepard, 1967). Se denominan *cusps apretados* cuando los espaciados entre brazos están entre los 15 y los 25 metros, aproximadamente. Se dice que hay *mega cusps* cuando estos espaciados superan los 100 metros (cusps de morfologías amplias).

La formación de los cusps requiere:

- unas condiciones óptimas previas, que incluyen una energía adecuada del oleaje,
- unas oscilaciones atrapadas en la playa (edge waves), y
- una constancia en las caracteristicas del oleaje incidente.

Para Seymour y Aubrey (1985), las mareas casi inmóviles constituyen la principal condición previa. Estas mareas corresponden, normalmente, a situaciones de solsticios, y tienen que perdurar lo suficiente como para permitir una inicial perturbación en la geometría de la playa. Además, se precisa que el sistema general circulatorio no impida el potencial desarrollo de las estructuras.

De acuerdo con Komar (1976), Pethick (1984) y otros, los cusps no son sino que una consecuencia de las interacciones entre:

- las oscilaciones atrapadas, y
- el oleaje incidente en decrestamiento o de oscilación.

En efecto: Los frentes de las olas incidentes pueden coincidir, en la franja intermareal:

- o bien con las "crestas" sub-armónicas y/o infragravitatorias, de las oscilaciones atrapadas,

- o bien con los senos de estas oscilaciones.

En el primer caso, se producen sobre-elevaciones, que implican que el agua:

- penetre más tierra adentro,

- alcance mayor energía potencial, y

- adquiera una mayor capacidad de erosión, en su retorno, de acuerdo con un flujo convergente, como describe Bagnold (1940).

De esta manera, se labran unas vaguadas, con cabeceras redondeadas hacia tierra.

En el segundo caso, ocurre todo lo contrario, y se forman los salientes.

Con todo, en muchos casos, principalmente para los espaciados apretados, los cusps podrían ser muy bien las huellas de las longitudes de onda, de la componente sub-armónica de las oscilaciones atrapadas.

Con una investigación basada en análisis sistemáticos, de las morfologías de cusps apretados, en una serie de playas, se pueden determinar:

1. Sus correspondencias con las longitudes de onda de las oscilaciones sub-armónicas.

2. En el supuesto de que sean significativamente representativas de las huellas de las longitudes de onda de las oscilaciones sub-armónicas, en que medida la componente "y" de las ondas atrapadas sigue sólo una función cosenoidal. De darse la supuesta premisa, los ligeros y progresivos cambios en las amplitudes de estas formas menores inducen en pensar que, quizás, intervengan otras funciones (exponenciales o de otro tipo).

3. Algunas de las características de las ondas atrapadas, conforme con la formulación de Holman (1983).

4. La tasa de pérdidas sedimentarias (m^3 por unidad de superficie), que representan las excavaciones de las vaguadas.

5. Y como se relacionan las anteriores pérdidas sedimentarias:

   - con las características del oleaje incidente,
   - con los rangos y cambios de mareas, y
   - con transportes y deposiciones longitudinales y/o transversales.

En principio, se admite que en una playa netamente reflectiva, los cusps:

- se deben a las oscilaciones sub-armónicas,

- tienen espaciados apretados regulares, alrededor de los 20 metros, que dependen del periodo de las olas incidentes,

- progresan hacia el interior de la playa, hasta el límite de penetración de las mareas de pleamar, y

- tienen una larga persistencia, ya que están relativamente protegidos de la erosión del oleaje, al estar menos expuestas, en el tiempo, a sus efectos.

En las playas intermedias, se forman:

- cusps de alta marea (apretados), que corresponden a dominios reflectivos (a oscilaciones sub-armónicas),

- o mega - cusps, en relación con oscilaciones infragravitatorias, cuando hay amplios dominios disipativos y energías moderadas del oleaje incidente. Ocupan las posiciones más externas.

En una playa esencialmente disipativa, a pesar de haber oscilaciones infragravitatorias, las fuertes energías del oleaje impiden la formación de cusps.

Pueden darse estructuras en cusps sin ningún tipo de relación con las oscilaciones atrapadas. Por ejemplo, se observan casos de que algunas dependen de *barridos intermareales de resaca "en arco"*, de sentido único, condicionados por la componente longitudinal de un oleaje incidente oblicuo, de energía moderada y de periodo regular. La energía erosiva crece en el sentido del barrido, y así se excavan escalones sólo en un mismo lado de las estructuras. Estos cusps tienen, comúnmente, espaciados de varios metros.

Los cusps perduran mientras se mantengan las peculiaridades de un oleaje. Con un cambio de estas, caben dos alternativas:

- que se sustituya una secuencia de cusps por otra, con un espaciado radicalmente diferente, o

- que simplemente se destruyan las estructuras.

De todas maneras, los cusps se destruyen con los fuertes temporales, que hacen que las playas pasen a los estadios más disipativos de su evolución. A lo sumo, quedan huellas, semejantes a cusps no rítmicos, sobre una morfología aplanada. Sin embargo, algunas veces se identifican cusps rítmicos apretados en playas sometidas a fuertes situaciones energéticas. Por ejemplo, en la Playa de Ojos de Garza, en la Isla de Gran Canaria (España), que es arenosa en periodos de acreción, desarrolla cusps rítmicos de pocos metros, en depósitos de gravas y cantos, de fuerte pendiente, durante sus periodos más erosivos, a finales de invierno y a comienzos de la primavera. En estos cusps, hay que descartar procesos de formación de "barridos laterales de resaca en arco". Esto plantea:

- La necesidad de matizar los condicionantes energéticos del oleaje, que intervienen en el desarrollo, persistencia y destrucción de los cusps.

- Y que un oleaje netamente reflectivo, en playas, no siempre está ligado a los estadios de acreción. Las granulometrías deben ser condicionantes muy decisivos. En el caso de playas de cantos y/o gravas, con fuertes pendientes, y frente a temporales, las oscilaciones sub-armónicas, que se desarrollaran, adquirirían energías suficientes como para transportar y distribuir a los áridos, conforme con las longitudes de onda.

CAPÍTULO 10

LA ACRECIÓN Y LA EROSIÓN SEDIMENTARIA, CON SUS ÍNDICES Y PARÁMETROS, EN LAS PLAYAS ARENOSAS.

ESQUEMA:

1. El seguimiento topográfico de las playas. El cálculo de cubicajes de áridos.
2. Los movimientos topográficos transversales y longitudinales en los depósitos sedimentarios.
3. Los índices de los procesos de acreción y erosión en playas.
4. Los parámetros de los procesos sedimentarios en playas.

1. EL SEGUIMIENTO TOPOGRÁFICO DE LAS PLAYAS. EL CÁLCULO DE CUBICAJES DE ÁRIDOS.

En el estudio de los procesos y efectos físicos en playas, se tienen que cuantificar, en el espacio y en el tiempo, los procesos:

- de las *acreciones*, que corresponden a las ganancias de áridos, y
- de las *erosiones*, que son las pérdidas,

para obtener series temporales significativas, de los balances sedimentarios netos, de estos ambientes.

Las cuantificaciones de tales procesos se obtienen con el cálculo de cubicajes. Ésto conlleva un seguimiento del movimiento de la superficie, conforme con un calendario adecuadamente diseñado, según criterios estadísticos, que tenga presente el clima marítimo, con la inclusión de las aleatorias situaciones de temporales.

En los ambientes secos - intermareales, los movimientos de la superficie se estiman con la nivelación topográfica. Para los ambientes sumergidos, se utiliza, en la mayoría de los casos, el sonar (eco-sonda).

En las estimaciones de los cubicajes, de las distintas campañas, habrá una superficie basal, horizontal e imaginaria, que tendrá carácter de referencia, a una profundidad que nunca será afectada por unos procesos potenciales de erosión. Tanto en los ambientes de playa seca - franja intermareal, como en los sumergidos, los datos se manipularán, para llegar a los cubicajes de ganancias o pérdidas reales, en relación con el cubicaje "ficticio" de áridos, de una campaña dada..

Con los levantamientos topográficos, se pueden estimar las superficies seccionales, entre la topografía y en nivel basal de referencia. Estas superficies seccionales comprenderán a los perfiles transversales de seguimiento de la playa, que estarán correctamente diseñados.

Si se disponen de estas superficies seccionales, las estimaciones de volúmenes resultan fáciles, con el Método trapezoidal de Puig Adam (1979). El volumen, de una campaña determinada, se calcula con la fórmula:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} D_{1-2} + \frac{S_2 + S_3}{2} D_{2-3} + \ldots + \frac{S_{n-1} + S_n}{2} D_{(n-1)-n}$$

donde:

V = volumen de una campaña dada,
S_i = superficie entre la topografía y el nivel basal de referencia, correspondiente al perfil i,
D_{i-j} = distancia entre los perfiles "i" y "j".

En el caso de que la playa describa un arco, la anterior fórmula toma esta otra expresión:

$$V = \left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right)\left(\frac{D_{1-2} + d_{1-2}}{2}\right) + \ldots + \left(\frac{S_{n-1} + S_n}{2}\right)\left(\frac{D_{(n-1)-n} + d_{(n-1)-n}}{2}\right)$$

siendo:

D = distancia máxima entre dos perfiles, y
d = distancia mínima entre los dos perfiles en cuestión.

2. LOS MOVIMIENTOS TOPOGRÁFICOS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES EN LOS DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS.

Respeto a la franja intermareal, los cálculos de cubicajes permiten identificar, clasificar y denominar movimientos transversales y longitudinales del depósito sedimentario, entre determinados periodos de tiempo.

a). Movimientos transversales.

Se entiende por *movimientos transversales* los que se deducen, por comparación de unos mismos perfiles, perpendiculares a la línea de costa a lo largo del tiempo.

De acuerdo con Komar (1983), y con la información de otros autores, el estudio de los movimientos transversales adquiere una especial relevancia, en un primer diagnóstico, respecto a la identificación y caracterización de los estadios morfodinámicos, en los que puede evolucionar la playa en seguimiento

Se ha llegado a la siguiente clasificación y denominación de los movimientos transversales, en los depósitos arenosos de las playas:

- en bisagra,
- en acordeón,
- de solapamiento,
- en ascensor.

Los movimientos "*en bisagra*" corresponden a las distintas posiciones, que ocupa un mismo perfil transversal, al bascular rígidamente, desde un punto de origen, considerado fijo, en el límite interno de la playa.

Los movimientos "*en acordeón*" describen los avances y retrocesos del frente intermareal-submareal.

Hay un movimiento "*en solapamiento*" cuando un pedregal, callao, o substrato rocoso, en general, periódicamente se recubre por lenguas de arena, desde mar adentro. Estas lenguas pueden llegar, o no, al límite interno de la playa.

El movimiento "*en ascensor*" describe un desplazamiento, en paralelo, del perfil.

Dentro de los esquemas morfodinámicos de las playas, desarrollados por Wright y Short (1979-85), y a lo largo de un ciclo sedimentario corto, los movimientos "en bisagra", muy tendidos, se identifican en la zona intermareal, que evolucionan, básicamente, en torno a los estadios próximos al disipativo. Con estos movimientos, las pendientes intermareales aumentan durante los procesos de erosión, y disminuyen con la acreción. En efecto, el límite interno intermareal está menos expuesto a los barridos y deposiciones sedimentarias, cosa contraria a lo que ocurre en el límite externo. En consecuencia, la erosión , al ser más activa hacia el límite externo, determina aumentos de pendientes, en la franja intermareal, progresivamente de arenas más gruesas (las finas habrían sido barridas). Por razonamientos análogos, se explican las disminuciones de pendientes, en periodos de acreción, que coinciden con los de bajas energéticas del oleaje. Estas pérdidas de energía implican, a su vez, las deposiciones de granos más finos. Todo esto:

- Está de acuerdo con Bascom (1951), Emery y Gale (1951), Rector (1954), Kemp (1962) y Shepard (1973), entre otros.

- Y es cierto si se considera la totalidad del perfil transversal, de doble concavidad, de la playa.

Para un transporte y depósito, que se desarrolle principalmente entre la rompiente y la orilla, en la concavidad más externa, esto es, en la zona más activa de una playa, conforme con Sánchez Arcilla (1988), la acreción, en la franja intermareal, conlleva una basculación transversal, hacia arriba, pero ahora respecto a un eje externo de giro. Hay un aumento de pendiente. La erosión determina un movimiento topográfico inverso. En este otro comportamiento, se supone que la concavidad externa no participa en los procesos y efectos sedimentarios de la playa en cuestión.

En las playas intermedias, respecto a las disipativas y reflectivas, los movimientos transversales, más característicos, son los de en "acordeón", como describen Wright y Short (1983).

Para la visualización cualitativa-cuantitativa, de los movimientos transversales, se podría seguir la siguiente metodología:

1. Se trabaja con papel milimetrado.

2. En el papel, se dibuja los ejes cartesianos, de forma tal que el eje de abscisas sea el nivel de base.

3. Se selecciona una escala, por ejemplo, 1/100 (1 cm. en el papel equivale a 1 metro en la playa). No necesariamente la escala vertical tiene que coincidir con la horizontal.

4. Sólamente se consideran las topografías significativas de un mismo perfil: las de las máximas ganancias y pérdidas sedimentarias, y de las situaciones intermedias características, durante el ciclo en seguimiento.

5. Sobre el eje "y" se representa el punto fijo de referencia, y en relación con este, se dibujan los perfiles anteriores, a partir de las acotaciones.

6. Se identifica, clasifica y denomina el movimiento, o movimientos, que hace coincidir el perfil de erosión con el de acreción, o viceversa.

7. Se interpreta el movimiento, o movimientos, sobre todo dentro de un contexto morfodinámico.

b). Movimientos longitudinales.

Los *movimientos longitudinales* son los resultados del análisis y comparación, en el tiempo, de sucesivas superficies topográficas de una playa. Engloban a los movimientos transversales.

Estos movimientos se clasifican y denominan de la siguiente manera:

- basculación monopolar extrema,
- basculación monopolar subcentral,
- basculación bipolar,
- desplazamiento vertical, y
- movimientos en oruga.

Se entiende por *basculación monopolar extrema* el movimiento, en el tiempo, de la superficie topográfica de una playa, cuando se abate desde un eje fijo transversal extremo.

La *basculación monopolar subcentral* consiste en una especie de aleteo de la superficie topográfica, respecto a un eje transversal fijo, en situación subcentral.

La *basculación bipolar* describe abatimientos de la superficie topográfica desde dos ejes transversales fijos, situados en los extremos de la playa.

El *desplazamiento vertical* se define como el movimiento de ascenso o descenso del conjunto de la superficie topográfica.

Los *movimientos en oruga* describen los desplazamientos, en el tiempo, de las "crestas" y "senos", que pueden formarse en la superficie topográfica de la playa.

Los movimientos definidos tienen signo positivo cuando implican acreciones en el depósito de áridos, y signo negativo en el caso contrario (erosiones).

Para la visualización cualitativa-cuantitativa, de los movimientos longitudinales intermareales, se podría seguir los siguientes pasos:

1. Se trabaja sobre bloques-diagramas, de determinadas escalas (por ejemplo, con escala 1/50, en la cara frontal)..

2. Las bases de estos bloques se las hacen coincidir con las superficies convenidas de referencia, en las acotaciones topográficas.

3. Se dibujan, en la cara frontal del bloque-diagrama, y para las diferentes campañas, las cotas del límite externo de la franja intermareal operativa "fija", definida para el estudio de los procesos de acreciones y erosiones más internos, bajo la influencia de la hidrodinámica del oleaje.

4. Las líneas de las diferentes campañas, que se obtienen con la unión de los puntos dibujados, definen los movimientos longitudinales que tienen lugar, de acreción a erosión, o viceversa.

5. Se discuten los movimientos identificados, descritos y clasificados.

3. LOS ÍNDICES DE LOS PROCESOS DE ACRECIÓN Y EROSIÓN EN PLAYAS.

a). Introducción.

El contraste de los cubicajes, en el espacio y en el tiempo, permiten obtener:

- índices de capacidades de sustentación sedimentaria,
- índices de variabilidad sedimentarias, y
- parámetros de acreción y erosión.

En la anterior esquematización, se admite que un índice es un valor que describe todo un proceso, mientras que un parámetro es otro valor, pero que sólo hace observaciones de una parte de un proceso en cuestión.

b). El Índice de Sustentación Sedimentaria.

Este Índice (I.C.S.S.) permite posicionar una superficie observada, respecto a otra teórica.

El Índice se calcula:

- Conforme con la definición de una playa como un sistema tendente a un equilibrio entre valores granulométricos, pendientes topográficas y energías de los oleajes incidentes, que conllevan a la estimación de datos apriorísticos promediados.

- Y mediante el contraste entre los cubicajes reales y potenciales, obtenidos, respectivamente, de perfiles topográficos levantados in situ.

Por unidad de superficie de playa, y para un momento o periodo dado, del ciclo corto sedimentario, el Índice toma la expresión:

$$I_c = \frac{V_r - V_p}{S_u}$$

donde:

I_c = Índice de Capacidad de Sustentación Sedimentaria,
V_r = cubicaje real, respecto a un nivel de base convenido,
V_p = cubicaje potencial, respecto a ese mismo nivel de base, y
S_u = superficie observada.

El cubicaje potencial se calcula según las pendientes topográficas, que se determinan con medidas sedimentológicas y oceanológicas. Para esto, hay dos métodos alternativos:

- De acuerdo con fórmulas del tipo de Sunamura (1984).

- O con el empleo de curvas empíricas de equilibrio, que relacionen las pendientes del estrán, las medianas granulométricas de las arenas y las energías del oleaje incidente. Curvas de estas características las describen Bascom (1959), Komar (1976) y Martínez (1986), entre otros.

Los cubicajes potenciales, para la totalidad operativa de una playa arenosa, se deducen, de forma inmediata, con la ecuación:

$$C_p = L\left[A\left(H - \frac{A}{2}tag\alpha\right)\right]$$

donde:

C_p = cubicaje potencial,
L = longitud operativa de la playa,
A = amplitud transversal, en la horizontal, del estrán observado,
H = distancia promediada, en la vertical, desde los límites internos, de los perfiles delimitados, al nivel de base convenido.

Según coincidan, o no, los cubicajes reales y potenciales, las playas se clasifican en *simples* o *complejas*, respectivamente. En el caso de una playa compleja, se encuentra roto el equilibrio de los procesos sedimentarios. Esto se puede deber a que intervengan unas variables o condicionantes de "distorsión". Aquí se encontrarían las variables, que determinan impactos en los procesos físicos, por actuaciones del hombre.

Con los valores de los seguimientos de un conjunto de playas arenosas, de la Isla de Gran Canaria (España), se califican a los ambientes sedimentarios intermareales conforme la tabla 11.

Valores del I. C. S. S.	Calificación
> + 0.60	fuertemente en superávit
de + 0.60 a + 0.30	moderadamente en superávit
de + 0.30 a - 0.30	equilibrada
de - 0.30 a - 0.60	moderadamente deficitaria
< - 0.60	fuertemente deficitaria

Tabla 11

Calificación de los ambientes intermareales arenosos, según el I.C.S.S. , a partir del seguimiento de las playas de Gran Canaria (España).

En las estimaciones de los volúmenes de arena, a emplear en alimentaciones artificiales, toma especial relevancia el Índice de Sustentación Sedimentaria. En estas estimaciones, se "calcula" el perfil de equilibrio, que debe tener el frente intermareal. Obviamente, este perfil dependerá de los valores granulométricos de los aportes, que, a su vez, estarán en dependencia con la energía cinética significante, de los temporales "usuales". De esta manera, no habrían pérdidas importantes.

Con lo anterior, se llega a estimar el orden de magnitud de la alimentación, tras:

- Hacer la topografía previa a la intervención.

-Y de diseñar la amplitud de la playa seca, con unas determinadas características topográficas.

Como pautas generales de comportamiento de una playa de alimentación artificial, después de soportar el relleno, todo el volumen de arena se clasifica por el oleaje, y tiene lugar su "asimilación", en el ambiente sedimentario.

En el proceso de clasificación y asimilación, se produce la pérdida de un cierto volumen de la arena aportada. La investigación de las estimaciones de estas pérdidas es un punto muy a considerar, para que la playa se mantenga en condiciones óptimas, tras los primeros temporales de importancia, a partir de los cuales, se alcanza el equilibrio efectivo. Además, estas estimaciones influyen en los costes finales de las obras de alimentación.

c). El Índice de Variabilidad Sedimentaria.

El Índice (I. V. S.) corresponde a la estimación del cambio de altura promediada, de máxima erosión a máxima acreción, o viceversa, que tiene lugar en la superficie de la playa, durante ciclos sedimentarios cortos.

Este otro Índice se obtiene al dividir las pérdidas o ganancias netas de arena, en metros cúbicos, en un determinado subciclo sedimentario, por la superficie delimitada.

Con los valores de los seguimientos de un conjunto de playas arenosas, de la Isla de Gran Canaria (España), se califican a los ambientes sedimentarios intermareales conforme la tabla 12.

Valores del I. V. S.	**Calificación**
de 0.00 a 0.75	atenuada
de 0.75 a 1.50	moderadamente cambiante
> 1.50	fuertemente cambiante

Tabla 12

Calificación de los ambientes intermareales arenosos, según el I.V.S., a partir del seguimiento de playas de la Isla de Gran Canaria.

El Índice permite:

- Clasificar a las playas según las intensidades de los procesos de erosión y acreción.
- Y describir los movimientos topográficos longitudinales de las playas, cuantitativamente y en bloques diagramas a escala.

Con el análisis de series temporales de estos índices, se puede llegar a deducir tendencias de:

- estabilidades,
- inestabilidades, o
- hiper-estabilidades,

en los depósitos sedimentarios más internos.

Un depósito sedimentario se encuentra en *estabilidad* (en equilibrio) cuando no hay ganancias ni pérdidas netas. Puede ocurrir que una playa equilibrada, a lo largo de ciclos sedimentarios, soporte una serie de temporales, cuyos oleajes tengan diferentes direcciones de aproximación. Para cada uno de los temporales, podría estimarse transportes sedimentarios brutos importantes, que implicaran basculaciones significativas en el depósito de áridos. Sin embargo, la resultante del conjunto de temporales podría ser un transporte neto pequeño, que calificara a la playa como estable.

Se dice que hay *hiper-estabilidad* cuando las ganancias superan a la pérdidas. En caso contrario, se habla de *inestabilidad*.

Las variaciones sedimentarias, durante ciclos cortos, se explican con los impactos energéticos estacionales del oleaje, que determinan los procesos de erosión. Las aportaciones de sedimentos se relacionan con los decaimientos de estos impactos.

Las energías en las playas están en estrecha dependencia con el régimen direccional del oleaje, esto es, con la probabilidad de presentación/altura de las olas significativas, en una cierta dirección.

En un determinado entorno geográfico, y en relación con el oleaje predominante "erosivo", las playas abiertas tienen índices de variabilidad sedimentaria mayores que las reguardadas. Igual ocurre dentro de una misma playa, cuando hay unos sectores más abiertos que otros.

En una playa, o sector de la misma, con una variación sedimentaria importante, a lo largo de un ciclo corto, la construcción de un abrigo adecuado, aunque determine quizás una disminución de los aportes, podría producir una reducción cuantiosa de los procesos de erosión. El resultado de lo anterior conduciría a un aumento neto de arena, con la ampliación consecuente de la superficie seca-intermareal.

4. LOS PARÁMETROS DE LOS PROCESOS SEDIMENTARIOS EN PLAYAS.

Se distinguen dos tipos de parámetros sedimentarios, válidos para las playas:

- Parámetros de Erosión, y
- Parámetros de Acreción.

El *Parámetro de Erosión* es el porcentaje de decrecimiento del Índice de Variabilidad Sedimentaria, entre dos momentos dados, dentro del proceso de erosión, de un ciclo corto.

El *Parámetro de Acreción* se refiere al porcentaje de crecimiento de ese Índice, también entre dos momentos dados, pero dentro de un proceso de acreción.

Conforme con las observaciones de un conjunto de playas arenosas de Gran Canaria (España), estos dos tipos de parámetros permiten calificar a los ambientes intermareales arenosos, significativos por sus dimensiones, en un momento dado, según la tabla 13.

Porcentajes de decrecimiento, o de crecimiento, del I.V.S. (valores de los parámetros de erosión, o de acreción).	**Calificación del ambiente intermareal arenoso.**
00 - 15	muy bajo
15 - 35	bajo
35 - 65	moderado
65 - 85	alto
85 - 100	muy alto

Tabla 13

Calificación de los ambientes intermareales arenosos, según los parámetros de erosión y de acreción, a partir del seguimiento de playas de la Isla de Gran Canaria.

Los parámetros descritos dependerán, fundamentalmente, de la capacidad energética del oleaje. Otras variables serían, entre otras:

- el ángulo de incidencia de los frentes de olas,
- la pendiente topográfica del estrán, y
- las características del sedimento, sobre todo de sus valores granulométricos y de sus densidades.

5. TIPOLOGÍAS DE LAS PLAYAS ARENOSAS SEGÚN LOS ÍNDICES Y PARÁMETROS DE LOS PROCESOS SEDIMENTARIOS

A partir de los anteriores índices y parámetros, se obtiene una clasificación de tipologías de playas arenosas (tabla 14), para un ciclo anual determinado, y en relación con otros precedentes.

Siglas	Fórmulas	Siglas	Fórmulas
01	$V_0 C_0 B_0$	24	$V_1 C_2 B_2$
02	$V_0 C_0 B_1$	25	$V_1 C_3 B_0$
03	$V_0 C_0 B_2$	26	$V_1 C_3 B_1$
04	$V_0 C_1 B_0$	27	$V_1 C_3 B_2$
05	$V_0 C_1 B_1$	28	$V_1 C_4 B_0$
06	$V_0 C_1 B_2$	29	$V_1 C_4 B_1$
07	$V_0 C_2 B_0$	30	$V_1 C_4 B_2$
08	$V_0 C_2 B_1$	31	$V_2 C_0 B_0$
09	$V_0 C_2 B_2$	32	$V_2 C_0 B_1$
10	$V_0 C_3 B_0$	33	$V_2 C_0 B_2$
11	$V_0 C_3 B_1$	34	$V_2 C_1 B_0$
12	$V_0 C_3 B_2$	35	$V_2 C_1 B_1$
13	$V_0 C_4 B_0$	36	$V_2 C_1 B_2$
14	$V_0 C_4 B_1$	37	$V_2 C_2 B_0$
15	$V_0 C_4 B_2$	38	$V_2 C_2 B_1$
16	$V_1 C_0 B_0$	38	$V_2 C_2 B_2$
17	$V_1 C_0 B_1$	40	$V_2 C_3 B_0$
18	$V_1 C_0 B_2$	41	$V_2 C_3 B_1$
19	$V_1 C_1 B_0$	42	$V_2 C_3 B_2$
12	$V_1 C_1 B_1$	43	$V_2 C_4 B_0$
21	$V_1 C_1 B_2$	44	$V_2 C_4 B_1$
22	$V_1 C_2 B_0$	45	$V_2 C_4 B_2$
23	$V_1 C_2 B_1$		

v = variabilidad sedimentaria:
v_0 = atenuada, v_1 = moderadamente cambiante, v_2 = fuertemente cambiante.
c = capacidad de sustentación sedimentaria:
c_0 = equilibrada, c_1 = moderadamente en superávit, c_2 = fuertemente en superávit,
c_3 = moderadamente deficitaria, c_4 = fuertemente deficitaria.
B = balance sedimentario neto en un ciclo anual o superior:
B_0 = estable, B_1 = hiper-estable, B_2 = inestable

Tabla 14

Tipologías de los ambientes intermareales de las playas arenosas, conforme con sus procesos de acreción y erosión.

CAPÍTULO 11

LAS CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS DE LAS PLAYAS.

ESQUEMA:

1. Concepto de clasificación climática de las playas.

2. Escenarios, metodologías, resultados y discusiones que permitieron llegar al desarrollo de una clasificación climática.

3. Las playas monoclimáticas, biclimáticas y policlimáticas.

4. Los grandes grupos regionales de playas climáticas: Las playas del litoral venezolano.

1. CONCEPTO DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LAS PLAYAS.

Se desarrolla una clasificación genética de las playas arenosas, que explican las ganancias y pérdidas sedimentarias más internas. Para ello, se relacionan:

- las localizaciones y orientaciones geográficas de las playas,
- y los regímenes de los oleajes direccionales que le afectan.

Esta clasificación, de perspectivas múltiples, tiene:

- una componente morfológica, en cuanto que considera como interviene el entorno fisiográfico delimitante, en los procesos de erosión-acreción, y

- otra morfodinámica, dado que se basa, asimismo, en algunas variables hidrodinámicas del oleaje, que condicionan las formas del depósito, en dependencia con las localizaciones y orientaciones geográficas de las playas.

Los procesos más internos, de ganancias y pérdidas sedimentarias de arenas, se ajustan a un modelo físico, que distribuye a las playas en grupos específicos, en cuanto a las variables geográficas (localizaciones y orientaciones) y a las características del clima marítimo incidente.

Por otra parte, se pueden discriminar los distintos tipos de situaciones oceanológicas significativas, que intervienen en los procesos de erosión, mediante el número de curvas que se obtienen en las representaciones temporales de las pérdidas sedimentarias.

Cabe la posibilidad de llegar a subclasificaciones de las playas arenosas con las estimaciones de las intensidades relativas, duraciones y evoluciones de las energías cinéticas medias, que determinan los procesos de acreción-erosión. Estas estimaciones se harían a partir de determinados parámetros granulométricos de relación, sometidos a pertinentes manipulaciones.

Para verificar estas clasificaciones, se precisan disponer de balances sedimentarios de los ambientes internos (desde las zonas de rompientes hacia la orilla), que tengan dimensiones apropiadas, para que reflejen representativamente los procesos de acreciones y erosiones sedimentarias, a lo largo de ciclos sedimentarios significativos.

2. ESCENARIOS, METODOLOGÍAS, RESULTADOS Y DISCUSIONES QUE PERMITIERON LLEGAR AL DESARROLLO DE UNA CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA.

El diseño de la clasificación climática de las playas nació en unos escenarios determinados, que encierran unos ambientes de playas arenosas configurados por unas afortunadas variables geográficas. Aquí se emplearon unas herramientas, que permitieron obtener bancos de datos oceanológicos y sedimentarios, válidos para:

- una creativa discusión, y
- una formulación de conclusiones aceptables, extrapolables a otros entornos geográficos.

a). Escenarios.

Los escenarios que han permitido concebir esta clasificación genética de las playas, tras pacientes seguimientos de los depósitos sedimentarios, han sido las distintas vertientes de la Isla de Gran Canaria (Archipiélago Canario, España).

En Canarias, el oleaje se encuentra determinado, habitualmente, por ciertas situaciones meteorológicas de superficie. Estas forman tres grupos, según las direcciones de los vientos, que conllevan:

1. Los anticiclones atlánticos, centrados en las proximidades de Las Azores (alisios), junto con la influencia ocasional de las depresiones térmicas saharianas. Tales situaciones se dan, sobre todo, en primavera y verano. Explican vientos y oleajes del N-NE.

2. Las profundas borrascas atlánticas, con el núcleo por encima del Golfo de Vizcaya, y algunas veces las borrascas atlánticas muy desplazadas hacia el Sur. Tienen lugar desde el otoño hasta principios de primavera. Explican vientos y oleajes del W-NW.

3. Los anticiclones Norte-africanos o Sur-europeos, depresiones térmicas saharianas y borrascas atlánticas desplazadas hacia el Sur de Canarias. Coinciden, en el tiempo, con las situaciones anteriores. Explican vientos y oleajes del E-S.

b). Metodologías y resultados.

Para el desarrollo del modelo de esta clasificación, se utilizaron las siguientes metodologías:

1. Selección de un conjunto de playas arenosas representativas, en el litoral grancanario, y análisis de sus variables geográficas.

Se aislaron las *localizaciones* (vertientes septentrional, oriental, meridional y occidental) y las *orientaciones* (hacia qué cuadrantes estaban abiertas, respecto a los oleajes incidentes.

Se establecieron cuatro grupos de playas:

- Playas de la cornisa Norte, resguardadas del oleaje N-NE, y abiertas a los temporales del W-NW.

- Playas del litoral oriental, abiertas al oleaje del N-NE.

- Playas del litoral oriental, protegidas del oleaje del N-NE y abiertas al SE.

- Playas meridionales.

Las playas del litoral occidental se encuentran actualmente en seguimiento.

2. *Cálculos de cubicajes de arena en el estrán de las playas seleccionadas, a lo largo de ciclos sedimentarios cortos.*

   Se elaboraron tablas que recogían tales ganancias y pérdidas de arena, en el conjunto de playas seleccionadas.

3. *Análisis del clima marítimo regional, a partir de una serie temporal significativa de mapas de superficie, de predicción meteorológica.*

   En una tentativa de aproximación al problema, se calcularon la frecuencia de presentación de los vientos en superficie en las proximidades de Canarias. Sus realizaciones permitieron formular las siguientes deducciones:

   - La máxima dominancia de los vientos del N-NE tiene lugar durante los meses del verano.
   - Los vientos del W-NW presentan dos picos, uno en otoño y otro en primavera. Durante el verano tienen una fuerte caida.
   - Y los vientos del S-E predominan, relativamente, desde otoño a primavera. También dejan de ser significativos durante el verano.

4. *Análisis del clima marítimo regional, mediante series temporales significativas de mapas analíticos de oleajes, y de medidas de oleajes, registradas por boyas.*

   Con los mapas analíticos del Servicio Nacional de Meteorología, y con la información del Programa del Clima Marítimo, se consideró la probabilidad de presentación/altura, a profundidad indefinida, de las olas significativas Swell y Sea, en distintas direcciones, para las proximidades de Canarias En realidad, se hizo un análisis del régimen del oleaje direccional. Las observaciones se dieron en porcentajes mensuales.

c). Discusiones.

Se establecieron correlaciones entre:

- las frecuencias más altas de los vientos dominantes y reinantes en superficie,
- las probabilidades de presentación y alturas mayores, a profundidad indefinida, de los oleajes condicionados por estos vientos,
- y los procesos significativos de acreción y erosión, en las playas en seguimiento, en función de sus variables geográficas (localizaciones y orientaciones), y los oleajes identificados, descritos y analizados.

En un proceso de abstracción de las anteriores correlaciones, se describió, en una primera aproximación, el siguiente modelo físico de clasificación climática:

Playas del Grupo I.

- Se encuentran en la cornisa Norte, pero orientadas hacia el Oeste. Aquí también se incluyen las playas del Sur.
- Soportan erosiones extremas con los temporales del W-NW (otoño - primavera).
- Y las acreciones importantes tienen lugar cuando no hay oleaje del W-NW, que coinciden con la dominancia del alisio (verano).

Playas del Grupo II.

- Se encuentran en la vertiente oriental de la Isla, abiertas al NE.

- Sus erosiones extremas se producen en relación con el oleaje del N-NE (desde el invierno al verano).

- Y las acreciones importantes acaecen durante el decaimiento del alisio (durante el otoño - invierno).

Playas del Grupo III.

- Se encuentran en la vertiente Este de la Isla, pero orientadas hacia el SE.

- Las erosiones extremas se deben a un oleaje significativo del E-SE (otoño - invierno).

- Y las acreciones importantes suelen coincidir, en el tiempo, con los temporales atlánticos del W-NW, que no tienen incidencia en este litoral.

Aquellas playas de la cornisa Norte, orientadas de forma tal que perciban tanto los temporales del W-NW como el oleaje del N-NE, y las de la vertiente occidental, están actualmente en estudio. Además, las playas del S-SW deberían formar un grupo aparte, en dependencia con oleajes del S-SW. Con el oleaje del SW, se construiría la gráfica correspondiente a su probabilidad de presentación, para interpretar los procesos de erosión.

Conforme con un análisis detallado del clima marítimo, y con las ubicaciones de los procesos de acreción-erosión, se obtuvieron las siguientes precisiones:

1. El oleaje del SW-W-NW tiene sus mayores alturas durante su apogeo (desde otoño a principios de primavera). El H_o promediado de las olas "Sea" generalmente superan los 2 metros, cosa que no suele ocurrir con las olas "Swell". Si se considera la ubicación de las pérdidas sedimentarias, de las playas en seguimiento, del Grupo I, no se da un desfase significativo entre:

   - la erosión interna,
   - y la frecuencia de presentación máxima del oleaje direccional determinante.

2. Tanto el oleaje "Swell" como "Sea" del N-NE alcanzan sus máximas alturas durante el invierno - principios de primavera. El H_o promediado normalmente rebasa, o está alrededor de los 2 metros. Las olas podrían depender de situaciones distintas de los alisios. Sea el ejemplo de las borrascas saharianas. Esto explica que las playas del Grupo II tengan sus máximas erosiones internas en este periodo del año. Cuando domina el alisio, sólamente se impide importantes procesos de acreción.

3. Y, por último, para las playas del Grupo III, se da, de nuevo, la sincronización entre máxima frecuencia de presentación del oleaje erosivo y efectos de pérdidas en el depósito sedimentario. En este periodo, el H_o promediado del E-SE toma valores más altos, próximos a 2 metros. Las olas "Swell" de este régimen direccional determinan erosiones de segundo orden, durante la primavera, en coincidencia con sus H_o promediados de valores más altos, de unos 2 metros.

3. LAS PLAYAS MONOCLIMÁTICAS, BICLIMÁTICAS Y POLICLIMÁTICAS.

En las playas arenosas, se pueden identificar cuantos tipos de climas marítimos intervienen en los procesos erosivos.. Para ello, se precisan disponer de los balances sedimentarios de los ambientes más internos (desde las zonas más internas de rompientes a los límites más externos de las pleamares), correspondientes a las evoluciones consecutivas de acreciones extremas a máximas pérdidas.

Para estas identificaciones, se opera como sigue:

1. Para las playas en seguimiento, desde acreciones máximas a sus extremas erosiones, dentro de ciclos sedimentarios cortos significativos, se representan, en papel milimétrico y a escalas adecuadas, las pérdidas, en metros cúbicos, por los sucesivos temporales, en relación con los periodos de tiempos transcurridos, en días (con las fechas de las campañas de los levantamientos topográficos).

2. Para una mejor visualización y deducción de las intervenciones de distintos climas marítimos, en los procesos de erosión de las playas, se repiten las anteriores representaciones, pero ahora poniendo en ordenadas los logaritmos neperianos de los cubicajes. De esta manera, las curvas de las anteriores gráficas se ajustan a rectas. A medida que los puntos se encuentren mejor ajustados a esas rectas, se obtendrán deducciones más precisas. La justificación de estas reconversiones gráficas está en que las pérdidas de áridos, dentro de subciclos erosivos, siguen funciones exponenciales (Martínez et al, 1990).

3. Cada recta, dentro de una representación, corresponderá a un tipo determinado de clima marítimo.

4. Si en la gráfica de evolución sedimentaria de una playa sólo hay una recta, en la erosión interviene un sólo tipo de clima marítimo, y el ambiente sedimentario se clasificará como monoclimático. Si aparecen dos rectas, habrían intervenido dos tipos de climas marítimos y la playa será biclimática. Si intervienen más de dos climas marítimos, el proceso erosivo se clasificará como policlimático.

4. LOS GRANDES GRUPOS REGIONALES DE PLAYAS CLIMÁTICAS: LAS PLAYAS DEL LITORAL VENEZOLANO.

Entre otras muchas alternativas, complementarias y suplementarias, las playas del litoral venezolano se pueden estudiar conforme a un esquema, que parta de unas premisas de partida, que permitan llegar a un modelo físico de clasificación climática. Ya dentro de este modelo, se pueden abordar casos concretos, por ejemplo, las Playas de la Isla de Margarita.

a). Premisas de partida para la clasificación climática de las playas del litoral venezolano.

Las premisas de partida se sustentan, principalmente, en el clima marítimo, que afecta a estos litorales del Caribe. De forma concisa, aquí se pueden identificar, denominar y describir, tentativamente, cuatro tipos de oleaje:

1. Oleajes dominantes del NE.

Predominan a lo largo de todo el año. Están condicionados por brisas, también del NE (alisios). Según los datos de la estación de Puerto Cabello, con una serie correspondiente a los años 1990-1993, la velocidad media anual del viento es de 9.89 km/h. Los vientos más suaves se encuentran en los meses de agosto y septiembre, con valores medios alrededor de 7.21 km/h. Los vientos relativamente más fuertes, soplan en los meses de enero, febrero y marzo, con valores medios entorno a 12.78 km/h.

Los análisis de la probabilidad de presentación del viento dominante del NE, para el área del Caribe, y su representación gráfica, a partir de una serie temporal de 14 años, ya bastante representativa (desde 1975 a 1989), obtenida en la Estación de Punta Piedras (Isla de Margarita), prácticamente coincide con los datos de Puerto Cabello. Sin embargo, según la Estación de Punta Piedras, los vientos más energéticos se dilatan en el tiempo (llegan hasta el mes de junio), y toman velocidades más altas (casi 22 km/h en mayo).

Los vientos del NE, y sus oleajes, pueden provocar corrientes próximas a la orilla, y dirigidas hacia el W, en los litorales de Venezuela. En relación con el litoral del Estado Aragua, , la Armada de Venezuela ha medido velocidades medias entre 0.2 y 0.5 nudos, más o menos mar adentro.

2. Situaciones del oleaje del NW, con tendencias a temporales.

Se identifican con huracanes tropicales, reales o potenciales, abortados en su recorrido SE-NW. Sirva de ejemplo el huracán Andrés (agosto de 1992), que se debilitó a temporal a la altura de Lousiana, en los

Estados Unidos de América. Se deben a depresiones regionales, por convergencias de células circulatorias atmosféricas. Determinan el choque de un oleaje frío del Norte con otro más cálido del Sur. El desplazamiento del oleaje frío, desde latitudes más altas, tiene sus causas en la presencia de un anticiclón bastante desplazado al Norte, normalmente desde junio a noviembre. Este periodo coincide con el de lluvias, en Venezuela. Cabe esperar un núcleo, de mayor frecuencia de temporales, entre agosto y octubre.

3. Perturbaciones extra-tropicales.

Proceden de las anteriores depresiones barométricas, cuando evolucionan a auténticos huracanes tropicales, y siempre que éstos puedan ascender, notablemente, a latitudes más septentrionales, ante el debilitamiento del anticiclón del alisio. Tales huracanes determinan oleajes descendientes del NW. Por supuesto, estas situaciones se solapan con las anteriores. sin embargo, suelen aparecer entre octubre-noviembre, sin descartar que se adelanten en el tiempo.

Los vientos del NW y sus oleajes determinan contracorrientes, respecto a las situaciones dominantes del NE, próximas a la orilla, y dirigidas hacia el E.

Conforme con las observaciones del Departamento de Meteorología, de la Dirección de Hidrografía y Navegación (Comandancia General de la Armada de Venezuela), en el litoral del Estado de Aragua, estas corrientes tienen lugar, preferentemente, entre los meses de octubre a diciembre, con velocidades muy fuertes, de 2.0 a 2.5 nudos, más o menos mar a dentro.

4. Oleajes de bonanza generalizada.

La "bonanza" se establece de acuerdo con un contraste relativo, en el tiempo, de las alturas de las olas, en las distintas localizaciones y orientaciones geográficas de los litorales. Aparece cuando concluyen los efectos colaterales oceanológicos del alisio: oleaje directo del NE y por temporales-huracanes del NW. Ésto es, durante el invierno.

b). Modelo físico de clasificación climática de las playas del Caribe.

La localización geográfica y la orientación de las playas del Caribe, interpretadas según el clima marítimo descrito, permite desarrollar un modelo físico:

- cualitativo,
- a delimitar estadísticamente en el tiempo, y
- a cuantificar,

en cuanto a los procesos de ganancias y pérdidas de áridos, en estos ambientes sedimentarios.

Según el modelo que se desarrolla, las playas se agrupan en las siguientes tipologías:

a). Playas oceánicas.

Las orillas se ajustan, sensiblemente, a la dirección NW-SE. Están abiertas al oleaje SWELL del NE (dominante), y resguardadas del oleaje del NW.

La erosión transcurre con el oleaje del alisio (del NE).

La acreción coincidiría, probabilísticamente, con la sustitución del oleaje del NE:

- Por los temporales del NW, y por las perturbaciones extra-tropicales, situaciones de las que se encuentran resguardadas.
- Y por las situaciones de "bonanza".

En consecuencia, las pérdidas sedimentarias ocurrirían desde enero a junio, dentro de unos límites amplios, y las ganancias en el resto del año.

En relación con la erosión, se tratarían de playas monoclimáticas.

b). Playas semi-oceánicas.

Se encuentran en litorales septentrionales, o con orillas en la dirección NE-SW. Están abiertas a los oleajes del NW:

- tanto de los temporales relacionados con los huracanes potenciales o abortados,

- como de las perturbaciones extra-tropicales.

Pero en ellas, se deja sentir, además, el oleaje del NE (alisio), que está difractado en las playas de direcciones NE - SW.

La acreción se sitúa en torno al mes de julio, que se corresponde con el intervalo de tiempo en el que hay, normalmente, ausencias de oleajes erosivos: del NW y del NE más energético.

La erosión aparece, al menos potencialmente, desde septiembre a junio. En relación con sus procesos, las playas serían policlimáticas.

c). Playas caribeñas.

Geográficamente, se encuentran en litorales orientados al Sur. Están resguardadas:

- tanto del oleaje dominante del NE (alisio),
- como del oleaje del NW.

Presentan una dinámica sedimentaria atenuada, alrededor de unos estadios morfodinámicos poco cambiantes. Suelen tener rasgos topográficos y formas sedimentarias menores, que permiten intuir la situación reflectiva.

d). Playas semi-caribeñas.

Las orillas describen la dirección NE-SW. Están relativamente abiertas al oleaje del NE, pero resguardadas del oleaje del NW, procedentes de temporales y/o perturbaciones extra-tropicales.

Las anteriores condicionantes, del clima marítimo, determinan que la erosión coincida con el periodo del alisio más energético (de enero a junio), y la acreción con el decaimiento del mismo.

De acuerdo con la erosión, definen playas monoclimáticas.

Dentro de los periodos erosivos:

1. En las playas oceánicas:

Las aguas abajo tienen un sentido de NW a SE, o viceversa, en dependencia con la dirección de aproximación del oleaje del alisio.

2. En las playas semi-oceánicas:

Las aguas abajo pueden adquirir un doble sentido:

- de E a W, para el oleaje del alisio, y
- de W a E, para el del NW.

3. En las playas caribeñas:

   En principio, el sentido de las aguas abajo es de E a W, para un oleaje del NE muy difractado-refractado.

4. Y en las playas semi-caribeñas:

   Se admite el sentido NE a SW, para un oleaje del alisio.

Este modelo físico se ha verificado, hasta el momento, con las playas de los siguientes escenarios geográficos venezolanos:

- Isla de Margarita (Estado de Nueva Esparta),
- Playas de la costa del Estado Aragua,
- Cayos y playas continentales del Parque Nacional de Morrocoy (Estado Falcón), y
- Playas del Parque Nacional de Mochima (Estados Sucre y Anzuátegui),

en cuyos lugares se encuentran muestrarios completos de los diferentes tipos significativos, de esta clasificación climática de las playas arenosas.

c). La clasificación climática de las Playas de la Isla de Margarita.

Conforme con el anterior modelo físico, las playas arenosas, más significativas, de la Isla de Margarita, se agrupan de la siguiente manera:

a). Playas oceánicas:

- Playa El Agua, y
- Playa de Guacuco.

b). Playas semi-oceánicas:

- Playa Septentrional de Punta Arenas,
- Playa de La Restinga,
- Playa Caribe,
- Playa Puerto Cruz,
- Playa Puerto Viejo,
- Playa Guayacán y
- Playa Manzanillo.

c). Playas caribeñas:

- Playa de El Yaque y
- Playa Meridional de Punta Arenas.

d). Playas semi-caribeñas:

- Playa de Pampatar,
- Playa Decamerón,
- Playa de la Caracola y
- Playa Bella Vista.

CAPÍTULO 12

LOS MODELOS NUMÉRICOS DE LOS PROCESOS Y EFECTOS SEDIMENTARIOS MÁS INTERNOS DE ACRECIÓN-EROSIÓN, EN PLAYAS ARENOSAS.

ESQUEMA:

1. Introducción a la modelización de los procesos y efectos intermareales de la acreción y de la erosión, en playas arenosas.

2. Bancos de datos de partida, para el diseño de los distintos modelos.

3. Modelos a partir de una ecuación diferencial, con un término logístico y otro de saturación.

4. Modelos de ecuación diferencial, con un término logístico, otro de impulsos energéticos y un tercero de ruidos.

5. Modelos deterministas, para evaluar los impulsos energéticos.

6. Modelos de la composición frecuencial, del balance sedimentario, para determinar, en parte, el término de ruidos.

7. La simulación informática de los procesos sedimentarios.

1. INTRODUCCIÓN A LA MODELIZACIÓN DE LOS PROCESOS Y EFECTOS INTERMAREALES DE LA ACRECIÓN Y DE LA EROSIÓN, EN PLAYAS ARENOSAS.

Los procesos de acreción-erosión intermareal, en playas arenosas, representan los efectos ante unas causas determinadas. Conocida y comprendida la dualidad "efectos-causas", se puede predecir "causas-efectos", mediante un modelo numérico, o una simulación.

En la modelización de los procesos sedimentarios intermareales, se puede seguir una metodología piramidal. Esta debe desarrollar diversas etapas conceptuales, ordenadas jerárquicamente, según el nivel de abstracción y generalidad que se alcance.

Un resumen de la secuenciación de estas etapas sería el siguiente:

1. En una primera fase, las campañas de campo conducen a la identificación de un modelo físico, en que predomina la selección de características básicas cualitativas.

   La Clasificación Climática de las Playas, del capítulo precedente no es sino que un modelo físico de los procesos y efectos intermareales de acreción y de erosión.

2. La traducción de datos cualitativos a cuantitativos constituye un proceso complejo, que pasa por etapas intermedias de modelización parcial. La representación de los parámetros descriptivos seleccionados, en las escalas adecuadas, culmina con el establecimiento de una fase cuantitativa.

3. En la fase cuantitativa, se aplica, esencialmente, el aparato matemático. Se establece un problema abstracto, que sirve, con preferencia, para el análisis de cuestiones generales.

2. BANCOS DE DATOS DE PARTIDA, PARA EL DISEÑO DE LOS DISTINTOS MODELOS.

En la modelización de los procesos de acreción y de erosión, en franjas intermareales de amplitudes significativas, en playas arenosas, se precisan, en principio, de dos series temporales de datos:

- Una en relación con el clima marítimo, que incida en el ambiente sedimentario, que se estudie.

- Y otra de cubicajes de arena, por lo menos de campañas mensuales, referenciados a una superficie horizontal imaginaria fija. Los cálculos se obtienen con la aplicación del Método Trapezoidal de Puig Adam (1979).

La primera de estas series está en dependencia con la Meteorología, y la segunda es una respuesta de la primera. Luego, las amplitudes significativas de ambas series están marcadas por los procesos meteorológicos.

Por otra parte, las manchas solares condicionan, en mucho, la Meteorología. Esta actividad solar tiene ciclos en torno a los 11 años. De aquí que las series temporales, en cuestión, para que sean significativas, deben recopilar, como mínimo, datos de siete años consecutivos. De esta forma, se registra la influencia de las manchas solares, tanto en sus fases de reactivación como de atenuación.

Con series más cortas, de menos de siete años, pueden quedar reflejados los efectos de una reactivación, o de una atenuación, de las manchas solares. Ello traería consigo una modelización distorsionada, estadísticamente, de los procesos sedimentarios playeros.

3. MODELOS A PARTIR DE UNA ECUACIÓN DIFERENCIAL, CON UN TÉRMINO LOGÍSTICO Y OTRO DE SATURACIÓN.

Estos pueden constituir los puntos de arranque de una modelización, que permita conocer y comprender los procesos internos de ganancias y pérdidas de arenas, en las playas.

Para las playas arenosas, tales estructuras matemáticas permiten, en principio, buenos ajustes empíricos de los volúmenes intermareales de arenas, en equilibrio, y las pautas de evolución de estos.

Los modelos consideran a las playas arenosas como sistemas sedimentarios que tienden a equilibrios entre:

- las energías del oleaje incidente,
- los valores granulométricos de los depósitos sedimentarios, y
- las pendientes topográficas del estrán.

Se pueden describir las estructuras de estos modelos como sigue:

En principio, la variación del volumen será un promedio de las pérdidas y de las ganancias. Luego es de esperar la obtención de una expresión matemática de la forma:

$$\frac{dv}{dt} = G(t) - P(t)$$

donde v representa el volumen de arena y G(t) y P(t) son, respectivamente, las ganancias y las pérdidas instantáneas, que se producen en el instante t.

Los desarrollos matemáticos de estos modelos lo realizan Martínez et al (1992a) y Martínez et al (1992b)

Si fuese cierta esta modelización, al crecer el tiempo, la playa perdería todas sus reservas de arena, cosa que carece de sentido físico en un ambiente, que debe permanecer constantemente como arenoso. De aquí que este tipo de modelización sea útil para periodos cortos de tiempo, y no se pueda generalizar.

Para periodos cortos de tiempo, se establecen bajo qué condiciones se alcanzan volúmenes de equilibrio en una playa. Obviamente, el equilibrio se logra cuando la variación de volumen es cero, es decir, cuando:

$$\frac{dv}{dt} = 0$$

Se llega a la deducción de que se puede realizar un estudio de los estados de equilibrio, del volumen de arena, a partir del cociente K/A, donde K es el volumen máximo de arena y A es el volumen umbral de la playa.

Se obtiene una ecuación matemática que describe el movimiento del volumen de arena de una playa, dando información precisa sobre los estados de equilibrio. Se pueden encontrar las siguientes situaciones:

a). Un sólo estado de equilibrio, si:

$$0 \leq \frac{K}{A} < \sqrt{27}$$

b). Dos volúmenes de equilibrio, si:

$$\frac{K}{A} = \sqrt{27}$$

c). Uno, dos o tres volúmenes de equilibrio, si:

$$\sqrt{27} < \frac{K}{A}$$

Además, se pueden analizar en qué puntos concretos se alcanzan los volúmenes de equilibrio, en función de un volumen inicial.

Para estas otras conclusiones, se parte de la siguiente expresión, previamente calculada y discutida:

$$\wedge(p,q) = q^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{2}{3}p\right)^3$$

donde:

$$p = \left(\frac{K}{A^2}\right)\frac{\beta}{r} - \frac{K^2}{3A^2} + 1$$

$$q = \frac{1}{3}\left(\frac{K^2}{A^3}\right)\frac{\beta}{r} - \frac{2K}{3A}\left[\left(\frac{K}{3A}\right)^2 + 1\right]$$

siendo:

β = tasa de erosión (cambio de volumen en un tiempo dado). Es un parámetro que se mantiene constante, hasta que aparezca un temporal, con el que toma otro valor.

r = inverso del intervalo de tiempo, para pasar de un V_1 a un V_2, a causa de un temporal.

En resumen, y en relación con un volumen inicial V_o, se obtiene que:

a). Para $\wedge(p,q) > 0$, $q > 0$ ó $q < 0$:

Siempre se alcanza el volumen de equilibrio V_1, cualquiera sea el volumen inicial de la playa.

b). Para $\wedge(p,q) = 0$, $q > 0$:

- Si $V_o \leq V_2$, el equilibrio se alcanza en V_1
- Si $V_o > V_2$, el equilibrio se alcanza en V_2

c). Para $\wedge(p,q) = 0$, $q < 0$:

- Si $V_o < V_1$, el equilibrio se alcanza en V_1
- Si $V_o \geq V_2$, el equilibrio se alcanza en V_2

d). Para $\wedge(p,q) < 0$:

- Si $V_o < V_2$, el equilibrio se alcanza en V_1
- Si $V_o > V_2$, el equilibrio se alcanza en V_3, después de las pérdidas por otro temporal, posterior al que determinó V_2

4. MODELOS DE ECUACIÓN DIFERENCIAL, CON UN TÉRMINO LOGÍSTICO, OTRO DE IMPULSOS ENERGÉTICOS Y UN TERCERO DE RUIDOS.

Estos modelos ya admiten una interpretación física a lo largo plazo. No queda limitada la modelización a periodos cortos de tiempo. Dan cabida a las pérdidas de arenas, por temporales de ocurrencia probabilística. En general, se mejora la visión de la evolución del volumen de arena, con un estudio detallado de las variables, que intervienen en estos procesos.

Esto modelos han sido desarrollados por Martínez et al (1993a), y adquieren expresiones de tres sumandos:

a). El primer sumando se refiere a los procesos de ganancias. Hace las veces de la parte logística, de los anteriores modelos.

b). El segundo sumando se corresponde con una función de "impulso", y representa los temporales erosivos fuertes (normalmente unos pocos por año). Estos temporales implican pérdidas de áridos.

c). El tercer sumando es el "ruido", que engloba las restantes variables que intervienen en la modificación de los volúmenes de arena, pero que son difícilmente cuantificables. Entre estos ruidos estarían, por ejemplo, los efectos de la marea astronómica, sobre los depósitos de arenas. Desde el punto de vista matemático, son oscilaciones aleatorias, sobre la ecuación de equilibrio.

En conjunto, se obtienen expresiones del tipo:

$$V(t) = V_{eq}\left(1 - e^{-a(t-tu)}\right) + \delta(t) + \varepsilon(t)$$

donde:

V_{eq} = volumen de equilibrio,
V(t) = volumen en el instante t ,
tu = instante del último temporal, anterior a t, que implique pérdidas significativas de arena,
a = parámetro que depende de la velocidad de recuperación de la playa, después de haber perdido su arena,
ε = término de ruidos.

5. MODELOS DETERMINISTAS, PARA EVALUAR LOS IMPULSOS ENERGÉTICOS.

Estos modelos han sido desarrollados por Martínez et al (1990).

Se tienen presente una serie de variables, tales como:

- la localización y orientación geográficas,
- los contornos geomorfológicos, o por obras marítimas,
- oceanológicas, sobre todo del clima marítimo, y
- morfodinámicas, incluidas las granulométricas del depósito sedimentario y las de las oscilaciones atrapadas del agua (ondas de borde).

En el conjunto de los procesos y efectos de la acreción y de la erosión en una playa, matemáticamente se da un paso atrás, dentro de una formulación general, ya que únicamente considera la expresión exponencial.

De acuerdo con las discusiones de los modelos precedentes, estos otros son válidos para periodos cortos de tiempos, donde se yuxtaponen los episodios lineales (uno por temporal), que configuran una tendencia global exponencial. Cuando t→ infinito, la modelización es irreal.

La información matemática que se pierde, en el desarrollo de estos tipos de modelos, queda compensada con un avance más profundo en el estudio más pormenorizado de los fenómenos físicos, con sus causas, que intervienen en los procesos de erosión de una playa. .

En la modelización, las pérdidas de áridos, por un temporal dado, se estiman mediante la expresión:

$$V = 1642.68 B c P s \phi g^{-5} T^{9/5} H_0^{8/5} L_b n \int_0^n m(n) dn$$

donde:

V = pérdidas de arenas, en m^3,
B = coeficiente de calibrado,
c = coeficiente del grado de erosión,
P = coeficiente de proporcionalidad energética,
m = coeficiente de susceptibilidad de pérdidas de áridos,
s = superficie intermareal observada de la playa en cuestión,
ϕ = densidad del agua,
g = aceleración de la gravedad,
T = Periodo del oleaje en segundos,
H_o = altura de la ola, a profundidad indefinida,
L_b = longitud de la ola, en la rompiente, y
n = número de días del temporal.

6. MODELOS DE LA COMPOSICIÓN FRECUENCIAL, DEL BALANCE SEDIMENTARIO, PARA DETERMINAR, EN PARTE, EL TÉRMINO DE RUIDOS.

Estos modelos, formulados por Martínez et al (1993b), explican ganancias y pérdidas sedimentarias (movimientos topográficos) de segundo orden, como respuestas a las variables en dependencia, entre otras:

- con las transferencias de energías, en el ambiente sedimentario,
- con las mareas astronómicas y, posiblemente,
- con perturbaciones océano-atmosféricas, del tipo de las denominadas de "El Niño".

Aquí, se deja un poco al margen la rigurosidad matemática de encasillar un fenómeno en una ecuación, y se trabaja desarrollando el cúmulo de datos experimentales, tomados sobre el terreno.

Aplicando métodos de interpolación, se llegan a determinar evoluciones temporales de cubicajes totales en las playas en seguimiento. Por otro lado, también se hacen estimaciones espectrales de la energía, que permiten identificar distintos periodos.

7. LA SIMULACIÓN INFORMÁTICA DE LOS PROCESOS SEDIMENTARIOS.

Dentro de la simulación numérica, están los sistemas expertos, que en realidad son Sistemas de Información Geográfica (GIS). Con ellos, se pueden obtener buenas decisiones en los referente, entre otras muchas cosas:

- a diagramas de transportes en playas, respecto a oleajes determinados, y
- a las cuantificaciones de esos transportes.

La base de datos, para un sistema experto, de los dos anteriores procesos físicos, consistirá en:

- La fisiografía, localización y orientación geográfica de la playa.
- La caracterización oceanológica del oleaje (dirección de aproximación, alturas y periodos).
- Evolución del gradiente de sobre-elevación del agua del mar sobre el estrán.
- Propiedades físicas del sedimento.
- Densidad del agua.
- Y geometría del estrán.

El conjunto de reglas de inferencia, para gestionar la base de datos, deberá ser seleccionada cuidadosamente. Es necesario implementar las experiencias realizadas, y sus valoraciones, en función de diferentes tipos de parámetros físicos, geológicos, sociales, económicos y culturales. Esto pone, una vez más, de relieve la complejidad del problema de la gestión del litoral.

Asimismo, los intervalos de confianza de las decisiones, propuestas por el sistema experto, han de definirse con la flexibilidad necesaria (traducción de las situaciones socioeconómicas), para proceder a su ejecución práctica.

Un estudio más avanzado, que aún no se ha implantado en el análisis de problemas de este tipo, consiste en el diseño de redes neurales. Sin embargo, la complejidad de estos asuntos necesita un mayor desarrollo.

CAPÍTULO 13

DE LAS PLAYAS ARENOSAS SUMERGIDAS A LAS PLATAFORMAS LITORALES SOMERAS DE ARENAS.

ESQUEMA:

1. Limitación del escenario de las playas sumergidas.
2. La "Regla de Bruun" (1962): Concepto, generalidades y aplicabilidad.
3. El perfil transversal de equilibrio de Dean (1977), y su aplicabilidad en el estudio de las playas.
4. Relaciones de una plataforma litoral somera de arenas con una playa inmediata, de aguas arriba.
5. El perfil de equilibrio de una plataforma litoral somera de arenas.
6. Alteraciones de los perfiles de equilibrio de las plataformas litorales someras de arenas, mecanismos de recuperación y sus repercusiones en las playas limítrofes.
7. Pautas a seguir en el estudio de una plataforma litoral somera de arenas, en relación con actuaciones de manejo de un litoral.

1. LIMITACIÓN DEL ESCENARIO DE LAS PLAYAS SUMERGIDAS.

Aquí se estudia la curvatura más externa, que define a una playa sumergida, con un fondo móvil de arenas, gravillas y/o gravas. El ambiente termina, mar adentro, donde el oleaje deja de afectar al fondo. Esta "banda" marcaría el límite externo de una playa sumergida.

2. LA "REGLA DE BRUUN" (1962): CONCEPTO, GENERALIDADES Y APLICABILIDAD.

Bruun (1962) fue el primero en enunciar su "Regla", que establece una relación predictiva entre la elevación del nivel del mar y la erosión en la línea de costa. Se comprende que la erosión llega a ser necesaria cuando hay un aporte insuficiente de sedimentos, para mantener el perfil de equilibrio.

Conceptualmente, la *Regla de Bruun* dice que las pendientes "*nearshore*" (tras la bajamar) tienden a mantenerse en equilibrio, a profundidades constantes, de acuerdo con una curva determinada. El equilibrio se pierde con procesos de transgresión marina (ascensos del nivel del mar). Para la recuperación de la profundidad inicial, en un punto dado, tiene que haber una deposición sedimentaria sobre el primitivo perfil. Como este tiene dimensiones kilométricas (de uno a varios kilómetros), un depósito de 1 a 2 centímetros de potencia implica un fuerte retroceso, aproximadamente entre 25 y 200 metros, en el frente litoral. Con la elevación del fondo y el modelado del frente litoral, se re-establece la curva de equilibrio.

Hasta donde llega, mar adentro, una curva de equilibrio, en dependencia con la hidrodinámica del oleaje, no se puede determinar con precisión. Con toda seguridad, los fondos tienden a adquirir una geometría de equilibrio hasta las profundidades donde se dejan sentir la acción de las olas. Para bastante autores, respecto a oleajes importantes. estas profundidades pueden rebasar, con mucha facilidad, los 15 metros.

Esta Regla se puede *extrapolar* a las transgresiones que sufren las playas de arenas, con las mareas meteorológicas (temporales). que conllevan aumentos de las capacidades energéticas del oleaje. Desde

esta perspectiva, pequeñas ganancias en la playa sumergida, relativamente muy amplia, suponen grandes pérdidas en la estrecha zona intermareal, con el consecuente retroceso de la orilla. De aquí, se infiere el papel que juega las contenciones (sustentaciones) de los perfiles, para la estabilización morfológica del estrán.

En la zona de rompientes, con los temporales, si se aplica el Método de Edelman, al perfil de una playa actual (Komar, 1983), el fondo afectado estaría a una profundidad igual a la altura de la ola en rompiente, multiplicada por 1.3.

Otra lectura de esta Regla, para la optimización de playas arenosas, siempre que esté ausente un transporte libre, infiere que la *alimentación de los perfiles sumergidos* constituye una alternativa a las obras marítimas de protección y/o a las alimentaciones en el estrán - playa emergida.

Por otro lado, se deriva la necesidad de tener presente una serie de cautelas, en la autorización de concesiones administrativas, para la extracción de áridos en playas sumergidas, sobre todo, si son muy tendidas, y evolucionan, a lo largo de ciclos sedimentarios cortos, alrededor de estadios morfodinámicos disipativos, o próximos a estos, que implican significativos transportes transversales, hacia mar adentro. Así, se podría evitar posibles degradaciones sedimentarias en el estrán. La extracción de una ligera, pero extendida capa de arena, en las anteriores circunstancias, supondría un retroceso cuantioso de la orilla, para restablecerse el perfil de equilibrio, de acuerdo con la Regla de Bruun.

En un contexto *cinemático* (de conservación del sedimento), que implica que lo que se erosiona en el perfil más interno se deposita en el perfil más externo, y si está ausente el transporte libre, a partir de Dean y Maurmeyer (1983), se deduce la expresión:

$$R \gg \frac{3.4SL}{(B + h_*)\cos\rho}$$

donde:

R = avance del mar, hacia tierra emergida,
S = incremento de la elevación del nivel del mar,
L = distancia activa de deposición, en la horizontal,
B = altura de la berma,
h_* = altura del nivel del mar, desde el límite neutro del fondo,
ρ = pendiente promediada de la playa sumergida.

Se emplea el símbolo ">>" porque el factor 3.4 normalmente toma un valor bastante mayor.

Dean (1982) calcula el retroceso adimensional de la berma mediante la siguiente expresión implícita:

$$R^* = S^* - \frac{3}{5} h'_{b2}\left[1 - \left(1 - R^*\right)^{5/3}\right]$$

donde:

R^* = R/W_2 ,
R = retroceso, en la horizontal, de la orilla,
W_2 = distancia, en la horizontal, entre la línea de rotura y la nueva orilla (después del retroceso),
S^* = S/B
S = incremento del nivel del mar,
B = distancia, en la vertical, entre el primitivo nivel del mar y la cota de coronación de la orilla,

h'_{b2} = h_{b2}/B
h_{b2} = profundidad del fondo, desde un nivel de temporal, en la zona donde rompen las olas.

Pero esta expresión es válida para un parámetro "m" (que se estudiará en el siguiente epígrafe) igual a 2/3, y de acuerdo con el elemento *dinámico* del ambiente sedimentario, que tiene presente:

- la morfología del depósito,
- y/o algunas características, normalmente cambios, de las fuerzas que afectan al litoral, en dependencia con el nivel del mar.

3. EL PERFIL TRANSVERSAL DE EQUILIBRIO DE DEAN (1977), Y SU APLICABILIDAD EN EL ESTUDIO DE LAS PLAYAS.

Existen varias formulaciones que permiten describir un perfil de playa, si se conocen:

- el tamaño de material existente (arena, gravilla o grava), y
- el oleaje actuante.

Dean (1977), obtuvo, a partir de datos referentes a playas en diversos lugares de los diferentes continentes, la ecuación, que puede definir el perfil de equilibrio.

Este perfil se expresa como:

$$h = Ax^{2/3} \quad (1)$$

donde:

h = profundidad en metros,
A = parámetro de forma,
x = distancia, en metros, a la orilla.

El parámetro de forma se define como:

$$A = kw^{0.44} \quad (2)$$

donde:

k = coeficiente empírico.
w = velocidad de caida del grano (m/s).

El valor del coeficiente k, que relaciona el parámetro A con la velocidad de caida del grano, es 0.51 para Dean. Para el perfil sumergido, a partir de bajamar, Losada (1995) verificó el valor de este coeficiente, ya que obtuvo valores entre 0.51 y 0.55, conforme con medidas de campañas, realizadas en las playas del País Vasco, Cantabria y Asturias (España).

La cota de finalización del perfil lo indica la profundidad de cierre $\left(h^*\right.$, que se ajusta a la expresión:

$$h^* = 2.28\left(H_s\right)_{12} - 68.5\frac{\left(H_s\right)_{12}^2}{gT_s^2} \quad (3)$$

donde:

H_s = altura de la ola significante, en metros, excedida 12 horas al año,
g = aceleración de la gravedad (m/s^2),
T_s = periodo significante del oleaje.

De las expresiones (2) y (3) se deducen dos hechos básicos:

- La forma del perfil depende, única y exclusivamente, del tamaño del sedimento, a través del parámetro de forma A.

- Mientras que el oleaje señala la cota de finalización del perfil.

De este modo:

- una playa de arena tendrá una pendiente más tendida que una playa de gravas, y

- una playa abierta al oleaje esto es, expuesta a un oleaje mayor, tiene un perfil más activo, más largo, que otra playa en un lugar resguardado.

Los análisis de Boon (1988) verifican perfiles transversales cóncavos, a partir de la anterior ecuación adimensional de Dean.

Si se llama "m" al exponente de "x", en la expresión (1), este, en realidad, no es constante, con un valor de 2/3. Puede tomar distintos valores. Un valor de m, mayor que cero, pero menor que uno, implica un perfil cóncavo. Si m es igual a uno, el perfil sería rectilíneo. Al perfil convexo le correspondería un valor de m mayor que uno.

Para una playa de arenas finas calcáreas, en el estadio reflectivo, con pendientes sumergidas entre 8 y 9 grados, se llega a la expresión:

$$h = Ax^{6/7} \quad (4)$$

donde A suele tomar el valor típico de 0.2

El exponente toma el valor de 2/3 en playas con predominancia de arenas cuarcíferas

El modelo de equilibrio, que se obtiene, es claramente una idealización. Representa a un perfil monotónico, en el que no se puede encontrar los efectos de una o de varias barras sumergidas. En consecuencia, no permite identificar, en gran parte, la morfodinámica de las playas, tal y como la formulan Wright y Short (1983).

Con todo, el interés del modelo estriba en que se puede dar una clasificación aproximada de las playas sumergidas, en cuanto a la estabilidad, inestabilidad o hiper-estabilidad, siempre que:

- se juegue con valores promediados de profundidades, correspondientes a ciclos sedimentarios cortos, y

- con las limitaciones que supone la idealización del equilibrio sumergido.

Si las profundidades estimadas, a lo largo del perfil, coinciden con las empíricas, el depósito está estabilizado. Cuando sean menores, hay inestabilidad. En el caso contrario, se admite hiper-estabilidad.

Una discusión de este tipo tiene su aplicación inmediata:

- en la explotación de áridos, en bancos sumergidos, y

- en la regeneración de playas, por alimentaciones artificiales, conforme con la "Regla de Bruun".

4. RELACIONES DE UNA PLATAFORMA LITORAL SOMERA CON UNA PLAYA INMEDIATA, DE AGUAS ARRIBA.

Entre una playa arenosa de aguas arriba, y una inmediata plataforma litoral somera de arenas, aguas abajo, podrían darse dos alternativas extremas:

- que la plataforma actúe a modo de *contención* (de sustentación), respecto a la playa, o

- que represente un *fondo absolutamente inactivo* (aparentemente, o con todas las cautelas debidas).

En el primero de los casos, entre la plataforma litoral y la playa, no se debe interponer una "barra rocosa" continua. Si se diera este afloramiento, obviamente la plataforma no representaría esa contención. Sin embargo, si podrían aflorar "puntuales" umbrales rocosos, que supondrían la aparición de "procesos y efectos chupaderos de borde", si, hacia mar adentro, se reprofundizara el fondo y se perdiera el perfil de equilibrio.

Se entiende por "*procesos y efectos chupaderos de borde*" las evacuaciones o excavaciones remontantes de áridos, hacia la orilla, bordeando los laterales del obstáculo topográfico rocoso, que podría ser muy bien una obra marítima, para que llegasen los aportes necesarios de áridos, y así recuperar el fondo su equilibrio geométrico.

5. EL PERFIL DE EQUILIBRIO DE UNA PLATAFORMA LITORAL SOMERA DE ARENAS.

A profundidades someras, pero donde previsiblemente se podrían descartar los efectos hidrodinámicos del oleaje "habituales" de características dominantes, reinantes y ocasionales (sean profundidades entre 15-30 metros), se identifica y demuestra la presencia de un perfil de equilibrio, en una plataforma litoral de áridos sueltos, no encosetada por barras continuas de afloramientos rocosos, cuando su fondo se encuentra estabilizado, a unas determinadas profundidades, a pesar de estar sometido a habituales corrientes, capacitadas energéticamente para arrancar y transportar los materiales sueltos del depósito, y máxime cuando en las proximidades, aguas abajo, de acuerdo con el sentido de las corrientes, hay un importante "sumidero" sedimentario (por ejemplo, el talud de la plataforma litoral), que solicitaría la evacuación de los aportes. En definitiva, se estaría ante un "fondo activo", ya que intentaría recuperar su perfil de equilibrio, si se rompiera.

Si un fondo, como el descrito, no estuviera ajustado a un perfil de equilibrio, el depósito de áridos no se habría desarrollado, ni se mantendría estabilizado, a profundidades donde se dejan sentir, significativamente, los procesos de erosión y transporte litoral. Cada vez se irían reprofundizando más, hasta llegar a profundidades de fondos rocosos consolidados, o donde las corrientes pierden sus capacidades de arranque y transporte de los materiales sueltos.

Luego, en el estudio de los perfiles de equilibrio, de este tipo de plataformas litorales, de materiales sueltos, resulta fundamental conocer:

- Los diagramas de corrientes en el cuerpo de agua, tanto en la capa de mezcla como por debajo de esta, con sus direcciones y sentidos dominantes, y con sus velocidades promediadas.

- Y los efectos de esas velocidades con la dinámica de erosión, transporte y depósito de los áridos. Para ello, se podría utilizar la gráfica de Hjulström (1935), ampliamente aceptada.

En estos tipos de fondos en equilibrio, la existencia de sectores formados por áridos relativamente consolidados, por costrificaciones, indicarían que no hay deposiciones "efectivas" actuales, por describir

el lecho una geometría en equilibrio, en relación con los procesos de erosión, transporte y depósito. Esto no impide que sean zonas de trasvases de arenas, hacia aguas abajo.

Estos perfiles de equilibrio deben estar muy condicionados por las características de los áridos y por una hidrodinámica. En estos escenarios, la hidrodinámica del oleaje, muy decisivas en los perfiles de equilibrio de las playas sumergidas, se encontraría sustituida por la hidrodinámica de las corrientes. No obstante, para algunos autores, por ejemplo Losada (1995), la presencia de ripples, a profundidades de 20-25 metros, demuestra un efecto modelador del oleaje en estos fondos. Pero no se debe olvidar que la existencia de ripples pueden tener sus causas en corrientes.

6. ALTERACIONES DE LOS PERFILES DE EQUILIBRIO DE LAS PLATAFORMAS LITORALES SOMERAS DE ARENAS, MECANISMOS DE RECUPERACIÓN Y SUS REPERCUSIONES EN LAS PLAYAS LIMÍTROFES.

Cuando plataformas litorales someras de arenas, sometidas a corrientes litorales capacitadas para erosionar y transportar los áridos de sus fondos, se encuentran con perfiles de equilibrio, y estos se alteraran, a causas de cambios en las profundidades (por erosiones naturales, excavaciones por extracción de áridos, o por modificaciones relativas del nivel del mar), se podrían esperar respuestas morfodinámicas, tendentes a recuperar los perfiles de en cuestión. Estas respuestas podrían ser muy análogas a las formuladas por la "Regla de Bruun".

Por ejemplo, si en una plataforma litoral de arenas, con esas corrientes "activas", que actuara de contención de una playa arenosa limítrofe, de aguas arriba, sufriera una rotura de su perfil de equilibrio, o aumentara su desequilibrio, tras una determinado efecto de reprofundización (sea el caso de una extracción antrópica de áridos), se produciría una "reacción", tendente a la recuperación del equilibrio geométrico del fondo. Ésto determinaría una reprofundización avanzante, hacia la orilla, de todo el lecho. O dicho de otro modo, habría una solicitud de arenas, que provocaría una excavación remontante, hacia batimetrías de menores cotas (hacia la playa activa sumergida, de aguas arriba).

Si en ese proceso remontante se interpusiesen sectores de arenas "costrificadas", en principio aparecerían protecciones, frente a la excavación, en avance hacia la orilla. En realidad, esta acción de resistencia a la excavación, sería transitoria. La erosión remontante socavaría progresivamente a la "costra". De esta manera, los fondos locales costrificados podrían perder el carácter de "estáticos", y permitir el avance de la excavación. Tampoco se podrían olvidar los "procesos y efectos chupaderos de borde".

Los *mecanismos*, para restablecer un perfil de equilibrio roto, serían:

- Los *transportes regidos por las corrientes litorales* adecuadas, en los ámbitos de plataforma. Por las profundidades de estos lechos, las corrientes corresponderán a las de la capa de mezcla, que se mueve toda ella prácticamente al unísono. Desde un punto de vista práctico, estas corrientes pueden interpretarse como el resultado de una suma lineal de las corrientes geostróficas, de las producidas por los vientos y por las determinadas por las mareas. Se pueden estimar, vectorialmente, resultantes de direcciones, sentidos y velocidades, con sus capacidades en los procesos y efectos de erosión, transporte y depósito de áridos.

- Y los *transportes causados por las oscilaciones infragravitatorias* (las correspondientes a la componente disipativa, del comportamiento morfodinámico de una playa), en el dominio de la playa sumergida limítrofe, de aguas arriba, que se encontrarían incentivados. Los depósitos mas internos de la plataforma litoral dejaría de comportarse como una "contención". Estos transportes enlazarían con los de las corrientes litorales. Sólo se rompería el eslabón de transporte, si la playa siempre se comportara como reflectiva, con lo que no se darían las oscilaciones infragravitatorias.

Por la incentivación de los transportes por oscilaciones infragravitatorias, y posteriores evacuaciones hacia mar adentro, por las corrientes litorales, aparecería y/o se incrementaría un desequilibrio en el perfil del fondo de la playa sumergida. El ajuste del perfil de Dean (1977), por ejemplo, se habría roto, en el

supuesto de que existiera. Por la "Regla de Bruun" habría una respuesta del conjunto del "sistema playero", para restablecer la curva de equilibrio del perfil. El "socavamiento general" creado tendería a desaparecer. Para ello, las arenas próximas a la orilla serían transferidas mar adentro. La orilla se erosionaría. Si esta era inestable, se incrementaría su retroceso hacia tierra.

En el supuesto que la playa afectada tuviera unas dunas solidarias, estas se verían sometidas a reforzar su papel de despensa sedimentaria, para desacelerar, en lo posible, el retroceso de la orilla hacia tierra. Pero con esta dunas pueden ocurrir dos cosas:

- que se encuentren en equilibrio sedimentario, o

- que estén desestabilizadas, con menos disponibilidades de arenas, a causas de interferencias, o decaimientos, en los aportes de arenas, desde las playas suministradoras.

En ambas circunstancias, el hecho de tener que aportar más arenas, a la playa afectada por la rotura del perfil de equilibrio de la plataforma litoral, supondrá el debilitamiento del depósito de arenas eólicas. Se perderá parte de las disponibilidades de áridos, que estaban destinadas a reponer las pérdidas de la playa, ante las situaciones de los fuertes temporales, incluidos los inusitados., o incluso, en un caso extremo. Pero si las dunas ya estaban debilitadas, esta función de despensa sedimentaria disminuiría en mucho, con todas sus repercusiones, en el depósito más interno de la playa. Se favorecería un desequilibrio sedimentario generalizado, con la degradación de las dunas..

7. PAUTAS A SEGUIR EN EL ESTUDIO DE UNA PLATAFORMA LITORAL SOMERA DE ARENAS, EN RELACIÓN CON ACTUACIONES DE MANEJO DE UN LITORAL.

En análisis y evaluaciones de repercusiones, respecto a intervenciones en plataformas litorales someras de arenas, que afecten a sus perfiles de equilibrio, se recomienda seguir la siguiente secuencia de pasos:

1. Identificación y caracterización de las peculiaridades de las playas y dunas, de aguas arriba, del entorno próximo a la plataforma que se estudia.

2. Descripción y análisis de las variables, dependencias y condicionantes fisiográficos, sedimentológicos y oceanológicos de la plataforma litoral en estudio.

3. Formulación de hipótesis de partida, a partir de la anterior descripción y análisis. Por ejemplo, que el perfil de la plataforma está en equilibrio.

4. Verificación de la hipótesis de partida. En el caso anterior, la verificación la daría la presencia de áridos sueltos sobre un fondo, donde se desarrollarían corrientes capacitadas para la erosión y transporte de estos materiales, si no tuviera lugar unas condiciones de perfil de equilibrio.

5. Causas que intervendrían en las solicitudes de aportes sedimentarios, en el ámbito de la plataforma. La causa principal sería las tentativas de recuperación del equilibrio, si éste se perdiera, por ejemplo, por una intervención antrópica.

6. Mecanismos naturales que entrarían en juego, para restaurar el perfil de equilibrio.

7. Identificación y evaluación de los efectos que provocarían los mecanismos naturales de respuesta, ante unas determinadas actuaciones, o cambios de variables, dependencias o condicionantes.

8. Formulación de unas conclusiones definitivas.

CAPÍTULO 14

LAS DUNAS LITORALES.

ESQUEMA:

1. Concepto de dunas.
2. Variables, condicionantes y dependencias de las formaciones dunares de los litorales.
3. Las playas como fuentes de aportes de arenas, para formar dunas.
4. La nomenclatura de las dunas.
5. Composiciones, estructuras y texturas de las arenas eólicas.
6. La dinámica de las formaciones dunares del litoral.
7. La modelización de los procesos y efectos de las dunas litorales.

1. CONCEPTO DE DUNAS.

Las dunas son depósitos arenosos, con morfologías y estructuras sedimentarias características, a partir de alimentaciones de arenas, y debidas a transportes eólicos.

El viento responsable de este transporte debe reunir tres condiciones:

- dominancia, o cierto carácter de dominancia,
- intensidad de fuerte a media, y
- sequedad.

En el dominio de una duna, los desplazamientos se realizan por deflación en las vertientes de *barlovento* (las expuestas al viento), mientras que en las vertientes de *sotavento* (las resguardadas del viento), los transportes están regidos por la gravedad, según planos de corrimientos.

Se ha demostrado que, en acumulaciones de forma y tamaño constante, la remoción y deposición, en un punto, son proporcionales a la tangente de inclinación de la superficie. Por consiguiente, en la cima de una duna, teóricamente no existe remoción ni deposición. Se alcanzará el máximo de estos procesos en los puntos de mayor pendiente. Esto es, en la zona de sotavento y próxima a la cima, que crecerá más rápidamente.

Esta última zona, por el crecimiento que en ella tiene lugar, aumentará de pendiente, y cuando se supere los 34 grados (talud natural de arena seca), se producirán avalanchas, a lo largo de planos de corrimiento, los cuales tienen ángulos entre 32 y 33 grados.

Pendientes ocasionales, en la bases de las laderas de sotavento, superiores a la del talud natural, pueden originarse por remolinos, .independientemente a las causas anteriores.

2. VARIABLES, CONDICIONANTES Y DEPENDENCIAS DE LAS FORMACIONES DUNARES DE LOS LITORALES.

El estudio de los procesos y efectos sedimentarios, en dominios de arenas eólicas, tendrá matices diferentes, según se trate:

- De un campo de dunas, donde la amplitud tiene identidad significativa.
- O de cordones dunares, paralelos a las orillas de las playas. La longitud predomina, en mucho, sobre la amplitud.

En el estudio de las formaciones dunares, las discusiones se centrarán en las variables, condicionantes y dependencias, de estos tipos de depósitos de arenas.

Sea el ejemplo de la descripción y análisis de las características topográficas, que hacen compatibles el desarrollo de los campos eólicos de arenas. En este contexto, la cartografía morfodinámica constituye un soporte fundamental.

Se deben tener presente los condicionantes externos del relieve, que determinan, por ejemplo, "efectos pantallas", con sus consecuencias en los procesos de deposiciones sedimentarias y en las formas de los depósitos de las arenas. Además, suelen marcar los límites internos efectivos de las formaciones dunares.

El *efecto pantalla* se debe a resaltes topográficos, bastante bruscos, que se interponen al transporte eólico de las arenas. Estas pantallas pueden determinar la caída de la velocidad del viento. La causa se debería a la resultante vectorial de las velocidades del viento incidente y del reflejado.

La disminución de la velocidad del viento supone una menor capacidad de transporte, en las proximidades de barlovento de la barrera topográfica. Ello trae consigo que las formas de las dunas tengan menores alturas, ya que, para la formación de las mismas, hay menos disponibilidades de arenas.

En definitiva, las pantallas contribuyen a que haya una pérdida en la capacidad de almacenamiento de arenas eólicas, con todas sus implicaciones en las playas, con las que se encuentra en interdependencias. De aquí que las edificaciones antrópicas, como las urbanizaciones, que se hagan en los límites internos de barlovento, precisen tener diseños que no supongan "efectos pantallas", para no interferir en la dinámica sedimentaria de las propias dunas y de sus playas solidarias.

Por otro lado, las pantallas del relieve implican que aparezcan determinados tipos de dunas, como son las denominadas "*en eco*", las "*trepadoras*" y otras.

3. LAS PLAYAS COMO FUENTES DE APORTES DE ARENAS, PARA FORMAR DUNAS.

Los valores granulométricos de las arenas, correspondientes a las playas solidarias, pueden proporcionar información complementaria, acerca de la susceptibilidad de estos depósitos sedimentarios, para formar dunas, tras la playa seca. O dicho de otra manera, en qué medida una playa puede representar disponibilidades de arenas, para una formación dunar.

Se dan estas susceptibilidades, o potencialidades de aportes, siempre:

- Que estén ausentes obstáculos físicos, que impidan el transporte de las arenas.
- Que hayan unos vientos apropiados para el transporte de las arenas hacia tierra.
- Que la playa se encuentre, obviamente, en hiper-estabilidad sedimentaria, con amplias superficies intermareales, que permitan la actuación efectiva del viento.
- Y que las arenas de las playas tengan un rango apropiado de tamaños, para el transporte eólico (aproximadamente entre 0.15 y 0.20 mm. de diámetros medios).

Para estas estimaciones de susceptibilidades, o potencialidades de desarrollo, se diseñan y aplican parámetros adecuados (*parámetros de susceptibilidades de las playas para formar dunas*).

Se opta por el parámetro:

$$I = \sqrt{A_q A_h}$$

donde:

I = Parámetro de susceptibilidad,
A_q = grado de ajuste para un ambiente de montaña eólica, o de duna, a partir de una media aritmética temporal y espacial, del Parámetro Q_p de Krumbein.
A_h = grado de ajuste para un ambiente de montaña eólica, o de duna, a partir de una media aritmética temporal y espacial, del Parámetro Hé de Cailleux.

Con la media geométrica, queda mejor patentizada los desvíos, en función de la caida en uno de los grados de ajuste, con lo que se obtiene una estimación más resolutiva.

En los ajustes, se utilizan escalas de 1 a 10, para las tendencias mínima y máxima respectivamente, a formar depósitos sedimentarios eólicos.

Se opera por separado, para los ambientes de montaña eólica y de duna, y se toma el valor más alto de estos cálculos alternativos.

El estudio de esta potencialidad también se puede hacer:

- Para los distintos periodos de tiempos, de un ciclo sedimentario corto, respecto a la globalidad de una playa.

- Y para los distintos sectores de una playa, en un periodo dado, o en relación con la totalidad del ciclo sedimentario corto.

Se debe cumplir una buena correlación entre:

- la clasificación granulométrica de las arenas de una playa,
- y los valores de sus parámetros, que traduzcan una fuerte tendencia a desarrollar dunas.

El parámetro de susceptibilidad carece de sentido, en relación con aquellas playas, cuyas arenas tengan diámetros que se separen, significativamente, de los valores óptimos, para el transporte eólico.

Además, las inferencias de geometría fractal juegan papeles importantes, en estos procesos de transportes de arenas.

4. LA NOMENCLATURA DE LAS DUNAS.

En las estimaciones de las alturas de las dunas, se utiliza, básicamente, la trigonometría, a partir de las amplitudes de las caras de sotavento, que son las que quedan muy bien delimitadas. En cambio, los límites de base, de las caras de barlovento, se encuentran difuminados. Por ello, las medidas de las amplitudes, de estas últimas caras, no se medirían con la suficiente exactitud, para obtener alturas fiables de las dunas.

Las dunas, en relación con sus tamaños, se clasifican en:

Dunas menores.

Las alturas no sobrepasan los 20 metros.

Dunas intermedias.

En ellas, las alturas oscilan entre 20 y un centenar de metros.

Grandes dunas.

Estas poseen alturas de más de un centenar de metros.

Las formas geométricas, que se puedan identificar y denominar, hay que descodificarlas, en relación:

- con sus dependencias con la topografía,
- con el campo eólico determinante, y
- con la cuantía de disponibilidades de arena.

Pero todo esto se tendrá en cuenta en el epígrafe referente a la dinámica de las dunas.

De entrada, las dunas litorales se pueden clasificar y denominar, de una forma resumida, según criterios morfológicos, y según la influencia topográfica, como sigue:

Dunas de barlovento.

Constituyen depósitos de arena por delante y en los laterales de un resalte topográfico aislado, que hace frente a un viento que transporta arena. A sotavento del resalte, los remolinos impiden el depósito de arena.

Dunas de eco.

Forman depósitos paralelos de arena, y a cierta distancia de un escarpe o talud, que hace frente a un viento que transporta arena.

Dunas trepadoras y de caída.

Son depósitos de arena que pueden remontar un escarpe, con más o menos pendiente, (dunas trepadoras), y trasvasar áridos a una vertiente de sotavento, con formación de depósitos (dunas de caída).

Dunas de sotavento.

Se corresponden con deposiciones difractadas de arenas, detrás de pequeños obstáculos aislados, que pueden frenar y difractar al viento. Las dunas de arbusto o matojo (*nebkha*) son dunas de sotavento, relacionadas con una vegetación escasa y dispersa.

Dunas transversales.

Definen cadenas desarrolladas perpendicularmente a un viento dominante, de intensidad media y constante en dirección y velocidad. La ladera de barlovento es bastante más suave que la de sotavento.

Dunas de aristas recurvadas en forma de "S".

Son casos particulares de las dunas transversales. La geometría peculiar se debe, probablemente, a la variabilidad direccional de los vientos.

Dunas en dorso de ballena.

Definen a montículos, o colinas, alargadas en la dirección del viento. Presentan crestas redondeadas y vertientes, a ambos lados, con pendientes similares.

Dunas tipo "barjan".

Son depósitos parabólicos, con los "cuernos" alargados hacia el sentido de avance del viento. Se encuentran en escenarios con situaciones de frecuentes vientos fuertes.

Cordones de dunas longitudinales, llamadas también en "cresta de gallo" o "en cremallera".

Corresponden a depósitos resultantes de las uniones de varias dunas tipo barjan. Se presupone que se forman cuando el viento sopla en dos direcciones, en ángulo agudo. Se trataría de cadenas, según la dirección principal, con múltiples coletillas oblicuas, en una misma cara, y orientadas conforme la dirección del viento secundario.

Dunas tipo "antibarjan".

Describen depósitos parabólicos, con los "cuernos" dirigidos hacia la procedencia del viento. Se ubican en climas templados.

Ghourd (gurd).

Se tratan de grandes depósitos piramidales de arena, con depresiones en las cimas, que se elevan en un campo de dunas en "S".

Dunas en tronco de cono, con depresiones en las cimas.

Podrían ser casos particulares de ghourd, aunque otra alternativa describiría a un estado juvenil avanzado y bloqueado, que no ha adquirido una morfología típica, al quedar fija, de forma prematura, por una vegetación.

Sand - ridge.

Forman depósitos a modo de cordones, que se alinean paralelos entre sí, durante varios kilómetros. No sobrepasan algunos metros de anchura y altitud.

5. COMPOSICIONES, ESTRUCTURAS Y TEXTURAS DE LAS ARENAS EÓLICAS.

a). Composiciones de las arenas eólicas.

En relación con las composiciones de las arenas, resulta de interés la determinación de las características mineraloógicas-petrológicas, de los componentes terrígenos. Estas determinaciones son, en muchas ocasiones, decisivas, para identificar las fuentes de aportes de las arenas.

En estas determinaciones, y respecto a ciertos escenarios geográficos, quizás se precisen de cuadros de contenidos mineralógicos, que discriminen la procedencia rocosa de las arenas.

b). Estructuras de las arenas eólicas.

Especial información dan las rizaduras (*ripple marks*), que se observan, preferentemente, en las caras de barlovento. Estas permiten obtener una primera radiografía, muy aproximativa, de los condicionantes eólicos. Con alguna frecuencia, las rizaduras permiten inferir direcciones principales y secundarias de los vientos, que suelen coincidir con las de los dominantes y reinantes.

Otras estructuras de interés, que también dan información sobre la dinámica eólica, en un depósito de arenas, son, entre otras:

- Las *estratificaciones cruzadas* (cross bedding). Describen sucesiones de vientos, con distintas direcciones de procedencia.

- Las peculiares deposiciones de los granos más densos, comúnmente oscuros, de menas metálicas. Pueden formar capas que, por disecciones superficiales, originen dibujos caprichosos, u ocupar posiciones en las crestas y senos de las rizaduras.

- *Quillas*, a sotavento de pequeños obstáculos, como algunos cantos o pies de plantas. Traducen direcciones y sentidos de los vientos.

- Y *lenguas de deslizamientos*, en las caras de sotavento de las formas dunares, y próximas a las crestas. Indican que esas caras, o sectores de las mismas, acaban de rebasar las pendientes de equilibrio, o están en meta-equilibrio.

c). Texturas de las arenas eólicas.

En cuanto a estos aspecto, de las arenas de las dunas, se pueden retomar los contenidos texturales, desarrollados en el capítulo de "Los materiales sueltos de las playas".

Aquí, las inferencias de geometría fractal adquieren una fuerte relevancia.

6. LA DINÁMICA DE LAS FORMACIONES DUNARES DEL LITORAL.

El estudio de la dinámica, de las formaciones dunares, se abordará bajo una serie de sub-epígrafes:

a). Los mapas eólicos.

En el diseño de la dinámica sedimentaria, específica de las formaciones dunares, se debe prestar especial atención:

- a las direcciones de desplazamiento de las formas dunares, y
- a las velocidades de los desplazamientos.

Para aceptables discusiones, conviene disponer:

- De buenos *mapas eólicos*, de velocidades y direcciones, y de comportamiento a largo plazo, a ras de superficie, y a distintas alturas, dentro de una franja altitudinal de unos pocos metros.

- Y de un *programa informático*, que prediga las modificaciones de los mapas eólicos, en función de la topografía.

En la obtención de los mapas de simulación de vientos, se sigue una metodología de modelización matemática, a partir de resoluciones numéricas de ecuaciones diferenciales.

No obstante, en un estudio de aproximación, las direcciones y velocidades de los vientos, que intervienen en el desarrollo de formaciones dunares, se pueden estimar:

- Mediante el *análisis de series temporales de medidas, tomadas en estaciones meteorológicas próximas*. Se deberían disponer de series significativas, de más de siete años.

- Con los "*pasillos de sombra eólica*". Estos definen "formas por ausencia de deposición sedimentaria". Presentan geometrías alargadas, entre dunas, a sotavento de un obstáculo importante, como puede ser los chiringuitos (quioscos). traducen, de una manera empírica, la dirección promedio de los vientos dominantes, y la distorsión, de sus efectos sedimentarios, por los vientos reinantes.

- Y con la *Proyección de Smith*, convenientemente adaptada. Consiste en la proyección estereográfica del conjunto de dunas de una formación. En este caso, se representan la dirección del plano de simetría y el buzamiento de sotavento, de las dunas observadas in situ, pero previamente analizadas, en un mosaico de fotografías aéreas. En la falsilla de proyección, se obtienen curvas de "nivel", que definen porcentajes de dunas, cuyos planos de simetría tienen una determinada dirección. Así, se deducen las direcciones significativas de los planos de simetría de las dunas, que coinciden con las de los vientos del transporte y depósito de la arena. Esta dirección suele corresponder con la de la resultante de las direcciones dominante y reinante.

b). Estimaciones de direcciones y de velocidades de desplazamiento de las dunas.

Estas estimaciones se obtienen mediante:

- El contraste de series de *mosaicos de fotografías aéreas*, a unas mismas escalas, adecuadamente distanciadas en el tiempo,

- O series de *campañas de seguimiento, in situ*, con una temporalización diseñada de acuerdo con las características de las variables de la dinámica dunar, principalmente las eólicas.

En este segundo caso, hay dos alternativas:

- Cuando se emplea el nivel de línea y las miras (método topográfico).
- O cuando las mediciones se hacen con brújulas de geólogo y cintas métricas.

Pero en ambas alternativas, se requiere una selección previa de dunas significativas, que representen a las distintas tipologías geométricas, y a las variables y a los condicionantes de la dinámica de las mismas.

Si las mediciones se hacen con el nivel de línea y las miras, se necesitan que hayan, además:

- Puntos fijos de observación, donde ubicar el instrumentaje, a alturas convenientes, respecto a las dunas seleccionadas.

- Y puntos fijos distantes de referencia, para estimar los ángulos de desplazamiento, que realizan las dunas en monitoreo.

Con esta metodología, las estimaciones, de las direcciones y velocidades de desplazamiento, se refieren a los puntos de intersección de los planos de simetría con las crestas.

Para los cálculos, por construcciones geométricas, se consideran:

- Los distintos ángulos de posicionamiento de unas mismas dunas, a lo largo del tiempo, respecto a los puntos fijos de referencia.

- Y las diferentes distancias de las formas sedimentarias, en correspondencia con las anteriores medidas, y en relación con el punto de observación.

La distancia entre:

- el punto singular de una duna, intersección entre el plano de simetría y la cresta,
- y el punto de observación,

se calcula indirectamente, con la utilización de un nivel de línea y una mira.

Se emplea la expresión:

$$(H_s - H_i)K = L$$

donde:

L = distancia entre el punto singular de la duna y el punto de observación,
H_s = lectura del hilo superior, debidamente interpretada, en su dimensionamiento,
H_i = lectura del hilo inferior,
K = una constante, por ejemplo, 1000.

El error, que se puede cometer con este método, está en torno a más o menos 35 centímetros, por cada 100 metros, y depende de muchos factores, como:

- condiciones de luminosidad,
- distancia de la duna: a mayor distancia, mayor error,
- pulso de quién sujeta la mira,
- etc.

Si las mediciones se obtienen con brújulas de geólogo y cintas métricas:

1. La dirección de desplazamiento es la que coincide con la del plano de simetría de la duna. Se calcula con la brújula.

2. Y las velocidades de desplazamiento se hayan con sucesivas mediciones, en el tiempo, de distancias entre:

   - la intersección del plano de simetría y la cara de sotavento, en la base de la misma, y
   - estacas a sotavento, embutidas en "terrenos fijos", y alineados según el plano de simetría.

c). Experimentaciones en bancos de prueba.

Con el empleo de bancos de prueba, en relación con la dinámica de las arenas eólicas, las discusiones de los datos pueden estar centradas en establecer tentativas de correlaciones, expresadas como gráficas, entre:

velocidades del viento, y
cantidades de arenas, transportadas por reptación , saltación y/o suspensión.

Las correlaciones pretenden determinar, entre otras cosas, el rango de velocidades del viento, para diferentes:

- condiciones ambientales (pendientes y humedades, sobre todo), y
- granos de arena, capaces de formar dunas, próximas a una playa.

Se estimarían específicos umbrales de las velocidades del viento:

- Umbrales de mínimos, por debajo de los cuales no habría capacidad de transporte.

- Y umbrales de máximos, por encima de los cuales sólo habrá capacidad de un transporte total, que impide el depósito. Las arenas se depositarían "lejos" de la orilla, tierra adentro. Los depósitos eólicos no estarían en solidaridad con las playas, que definen fuentes de aportes de arena.

Los bancos de prueba dan, asimismo, la oportunidad de experimentar con la formación de rizaduras, inherentes con un transporte por saltación. Se determinan como intervienen algunos de los condicionantes de las alturas y de los espaciados de estas estructuras sedimentarias. Estos condicionantes, en principio, serían:

- los valores granulométricos y densidades de las arenas,
- las intensidades del viento, y
- las pendientes topográficas.

d). Diseños de esquemas de recorridos eólicos de las arenas.

Estos diseños se hacen de acuerdo con las distribuciones de las medianas granulométricas, de muestras tomadas a barlovento y sotavento, a lo largo y ancho de la formación sedimentaria.

Los muestreos se realizan inmediatamente después de periodos significativos de tiempo, en que soplen los vientos:

- dominantes, y
- reinantes.

Las pautas que se deduzcan estarán en coherencia con los condicionantes:

- eólicos,
- topográficos, y
- barreras físicas en general.

e) Deducciones de la dinámica del depósito eólico, según parámetros texturales específicos de las arenas.

En los parámetros, a utilizar, intervienen:

- las dimensiones y rasgos morfoscópicos, y
- la naturaleza mineralógica-petroloógica , que se manifiesta en distintas densidades.

La morfoscopía se justifica por la incidencia que tiene la geometría superficial, en el transporte de las arenas por fluidos. A otro nivel de escala, se estaría ante inferencias de geometría fractal.

Las dimensiones y las densidades, obviamente, están implicadas en las respuestas intrínsecas que dan las arenas, cuando se las someten a procesos de transporte y depósito.

El transporte eólico de los áridos es óptimo:

- dentro de un determinado rango de diámetros medios, y
- a medida que disminuyan las densidades.

De acuerdo con todo lo formulado, el parámetro, que permitiría una caracterización de la dinámica de las arenas, tiene la siguiente configuración cualitativa:

$$P_d = (C, S, G, N)$$

donde:

P_d = Parámetro dinámico,
C = índice de color de los granos (M ó L).
M = melanocrato,
L = leucocrato,
S = aspecto superficial (m, b ó i),
m = mate,
b = brillante,
i = se computan, indistintamente, granos mates y brillantes,
G = textura morfoscópica observada (R, E ó I),
R = redondeamiento,
E = esfericidad.
I = redondeamineto o esfericidad, ya que adquieren representabilidades análogas,
N = valor del redondeamiento o de la esfericidad,
5 = redondeamientos y/o esfericidades iguales o mayores a 0.5 en la Escala de Krumbein-Sloss (1963).
8 = redondeamientos y/o esfericidades iguales o mayores a 0.8 en la Escala de Krumbein-Sloss (1963).

Los parámetros se definen a partir de curvas semilogaritmicas, de las texturas morfoscópicas observadas. Las abscisas hacen referencia a los diámetros de las arenas. En ordenadas, se ponen los porcentajes acumulativos, del número de granos, con el rasgo morfoscópico en estudio.

Los parámetros serían los valores granulométricos correspondientes al 50% acumulativo de la observación.

La experiencia, en el Campo de Dunas de Maspalomas (Gran Canaria, España), enseña que las arenas descarbonatadas volcánicas alcalinas más abundantes, que son las más susceptibles al transporte y depósito eólico, tienen un parámetro dinámico en torno a los 0.22 milímetros, prácticamente constante en todo el campo, para los granos melanocráticos, muy mayoritariamente brillantes, donde el redondeamiento, o la esfericidad significativa, es igual o mayor a 0.5, pero menor a 0.8, según la Escala de Krumbein y Sloss (1963).

En este ejemplo, y para unas arenas con las mismas características litológicas-morfoscópicas, el parámetro disminuye de valor, a medida que aumenta la distancia del recorrido. Esto traduce, como era de esperar, que, en un depósito eólico, las arenas pierden, progresivamente, la capacidad de ser transportadas. Para unas mismas tipologías, alcanzan los mayores recorridos aquellas arenas que tengan valores granulométricos relativamente más pequeños.

Los parámetros dinámicos con valores más altos, entre 0.25 y 0.27, corresponden a arenas melanocratas brillantes, con redondeamientos o esfericidades iguales o mayores a 0.8. De aquí, se deduce que los granos mayores sufren un transporte esencialmente por reptación, mientras que en el transporte de los restantes aumenta la importancia de los componentes de suspensiones y de saltaciones, por sus menores resistencias gravimétricas.

Cuando en el transporte de las arenas intervengan suspensiones y saltaciones, de forma significativa, los granos estarán menos desgastados. Luego, los valores, en las escalas morfoscópicas, serán sensiblemente más bajos.

En las arenas leucocratas "terrígenas", de aportes fonolíticos y o traquíticos, también representativamente brillantes, los parámetros dinámicos aumentan de valor, entre 0.270 y 0.224 milímetros, para redondeamientos o esfericidades iguales o mayores a 0.5, pero menores a 0.8. Esto se debe a que presentan una mayor resistencia al desgaste. Necesitan transportes más intensificados, para llegar a unos parámetros similares a los que tienen sus homólogas melanocráticas.

Para las fases mineralógicas mayoritarias de estas arenas leucocratas, con durezas alrededor de 6, se especula que la resistencia al desgaste es una relación inversa a las densidades.

donde:

P_d = Parámetro dinámico,
C = índice de color de los granos (M ó L),
M = melanocrato,
L = leucocrato,
S = aspecto superficial (m, b ó i),
m = mate,
b = brillante,
i = se computan, indistintamente, granos mates y brillantes,
G = textura morfoscópica observada (R, E ó I),
R = redondeamiento,
E = esfericidad,
I = redondeamineto o esfericidad, ya que adquieren representabilidades análogas,
N = valor del redondeamiento o de la esfericidad,
5 = redondeamientos y/o esfericidades iguales o mayores a 0.5 en la Escala de Krumbein-Sloss (1963),
8 = redondeamientos y/o esfericidades iguales o mayores a 0.8 en la Escala de Krumbein-Sloss (1963).

Los parámetros se definen a partir de curvas semilogarítmicas, de las texturas morfoscópicas observadas. Las abscisas hacen referencia a los diámetros de las arenas. En ordenadas, se ponen los porcentajes acumulativos, del número de granos, con el rasgo morfoscópico en estudio.

Los parámetros serían los valores granulométricos correspondientes al 50% acumulativo de la observación.

La experiencia, en el Campo de Dunas de Maspalomas (Gran Canaria, España), enseña que las arenas descarbonatadas volcánicas alcalinas más abundantes, que son las más susceptibles al transporte y depósito eólico, tienen un parámetro dinámico en torno a los 0.22 milímetros, prácticamente constante en todo el campo, para los granos melanocráticos, muy mayoritariamente brillantes, donde el redondeamiento, o la esfericidad significativa, es igual o mayor a 0.5, pero menor a 0.8, según la Escala de Krumbein y Sloss (1963).

En este ejemplo, y para unas arenas con las mismas características litológicas-morfoscópicas, el parámetro disminuye de valor, a medida que aumenta la distancia del recorrido. Esto traduce, como era de esperar, que, en un depósito eólico, las arenas pierden, progresivamente, la capacidad de ser transportadas. Para unas mismas tipologías, alcanzan los mayores recorridos aquellas arenas que tengan valores granulométricos relativamente más pequeños.

Los parámetros dinámicos con valores más altos, entre 0.25 y 0.27, corresponden a arenas melanocratas brillantes, con redondeamientos o esfericidades iguales o mayores a 0.8. De aquí, se deduce que los granos mayores sufren un transporte esencialmente por reptación, mientras que en el transporte de los restantes aumenta la importancia de los componentes de suspensiones y de saltaciones, por sus menores resistencias gravimétricas.

Cuando en el transporte de las arenas intervengan suspensiones y saltaciones, de forma significativa, los granos estarán menos desgastados. Luego, los valores, en las escalas morfoscópicas, serán sensiblemente más bajos.

En las arenas leucocratas "terrígenas", de aportes fonolíticos y o traquíticos, también representativamente brillantes, los parámetros dinámicos aumentan de valor, entre 0.270 y 0.224 milímetros, para redondeamientos o esfericidades iguales o mayores a 0.5, pero menores a 0.8. Esto se debe a que presentan una mayor resistencia al desgaste. Necesitan transportes más intensificados, para llegar a unos parámetros similares a los que tienen sus homólogas melanocráticas.

Para las fases mineralógicas mayoritarias de estas arenas leucocratas, con durezas alrededor de 6, se especula que la resistencia al desgaste es una relación inversa a las densidades.

Lo idóneo consistiría en levantar un conjunto de cartografías matizadas, de una formación de dunas, según estos parámetros, tanto para las arenas melanocráticas como leucocráticas. Entonces, se tendrían argumentos suficientes para una discusión de los mismos.

f). Criterios para formular la Historia del desarrollo dunar.

Lo que se pretende es conocer la evolución que ha seguido un depósito eólico.

Normalmente, ante cada escenario de formaciones dunares, se establecerán unos criterios específicos, para describir estas historias morfodinámicas. En el caso del Campo de Dunas de Maspalomas (Isla de Gran Canaria, España), se siguen estos criterios:

1. Los barjanes traducen disponibilidades reducidas de arena.

2. El desarrollo de dunas transversales implican buenas disponibilidades de arena, por aportes relativamente importantes, o por aportes reducidos, pero de forma constante y durante largos periodos de tiempo.

3. La presencia de dunas transversales, sin una cobertura vegetal, permite deducir que la zona, en la que se encuentran, está sometida, en principio, a unos procesos clímax de transporte y deposición eólica de arenas.

4. Se identifica una zona de actividad sedimentaria incipiente cuando hay:

   - depósitos de arenas en manto, o

   - dunas libres, propias de modestas disponibilidades de áridos (presencia de barjanes y ausencia de formas transversales),

   pero por delante, a barlovento, de la zona de máxima actividad.

5. Una zona de actividad sedimentaria amortiguada estaría constituida también:

   - por depósitos de arenas en manto, o
   - por dunas libres, que indiquen llegadas reducidas de aportes de áridos,

   tras la zona de actividad clímax, y hacia donde decae la capacidad de transporte del viento, hacia sotavento.

6. Se identifica una zona de actividad terminal cuando concurren:

   - la existencia de barjanes, como morfologías dunares significativas, y
   - la fijación de las formas sedimentarias, por la colonización vegetal.

   En estos sectores, los transportes y deposiciones eólicas de las arenas están muy limitadas por:

   - una fuerte caída de la capacidad de los vientos, que condicionan la dinámica sedimentaria, para el transporte de arena,

   - lo que a su vez conlleva a pocas disponibilidades de áridos, en estas franjas, que definen los límites internos, hacia tierra, de las formaciones dunares.

Un ejemplo de formulación de Historia, en una formación de dunas, a partir de una batería de criterios, como los descritos, se dará en el capítulo de "La cartografía de los procesos y efectos físicos en el litoral".

7. LA MODELIZACIÓN DE LOS PROCESOS Y EFECTOS DE LAS DUNAS LITORALES.

Se debe tender a la simulación del transporte y depósito eólico de las arenas, dentro de una colaboración multidisciplinar. Para llegar a esta simulación, y a una aplicabilidad de la misma, en relación con la ordenación, planificación y manejo del territorio, se podría adoptar el siguiente esquema procedimental:

1. Diseño físico (comportamiento descriptivo) del modelo sedimentario de las arenas, en el territorio en estudio.

2. Toma y procesamiento de medidas eólicas.

3. Toma y procesamiento de datos sedimentarios de las arenas.

4. Tratamiento estadístico del ambiente sedimentario.

5. Modelización matemática e implementación del modelo en computadora (simulación).

6. Discusión y conclusiones sobre la dinámica sedimentaria en la formación dunar y en las playas solidarias. Aquí, se optará por el modelo adecuado, a la física del problema.

7. Análisis de posibles impactos físicos, por intervenciones antrópicas (explotaciones mineras, por ejemplo), en la formación dunar y/o playas solidarias.

El tratamiento estadístico comprende diez pasos:

1. Estudio preliminar de las relaciones existentes entre la dinámica sedimentaria de la zona y las circunstancias ambientales de la misma:

    - Volumen de aportes de arena a lo largo del año.

    - Efectos del viento y de la topografía del terreno, sobre el transporte de los áridos.

    - Y las pérdidas sedimentarias, por los procesos de amortiguación de la erosión, en las playas solidarias, a causa de los temporales, o por avance del mar.

2. Diseño de un proyecto de toma de datos sedimentarios. Se contemplará:

    - puntos de tomas de datos,
    - número de observaciones a realizar en cada punto, y
    - frecuencia de toma de datos.

3. Estimación de la distribución de los diámetros de las arenas (volumen de partículas de cada diámetro), y distribución espacial de las mismas.

4. Estimación de parámetros de la función de aportes de arena, al escenario de la formación dunar.

5. Estimación de parámetros de la función que relaciona los aportes de arena con la intensidad del viento, incidente en la zona.

6. Estimación de parámetros de la función que relaciona el volumen de arena desplazada, y la distancia y la velocidad de desplazamiento, con la intensidad del viento y la topografía del terreno.

7. Estimación de parámetros de la función de pérdidas sedimentarias, a lo largo del año, en los procesos de amortiguación de la erosión, en las playas solidarias.

8. Correlaciones con las series registradas de vientos, en la zona, durante el periodo de observación.

9. Estimación y proyección de las series de datos sedimentarios en periodos largos, a partir de la información disponible, de datos eólicos, correspondientes a años anteriores.

10. Elaboración de los resultados obtenidos, en los apartados anteriores, para su utilización en los modelos de simulación.

CAPÍTULO 15

LAS INFERENCIAS DE GEOMETRÍA FRACTAL EN LOS PROCESOS Y EFECTOS FÍSICOS DEL LITORAL.

ESQUEMA:

1. La geometria de los granos de arena, en la dinámica sedimentaria.

2. Enmarque y delimitaciones del estudio de los fractales, en los procesos y efectos fisicos del litoral.

3. Metodologia de las inferencias de geometria fractal, en la dinámica del transporte de áridos.

1. LA GEOMETRÍA DE LOS GRANOS DE ARENA, EN LA DINÁMICA SEDIMENTARIA.

En este capitulo, se pretende analizar y evaluar el papel de una de las variables más internas, la geometria de los granos de arena, en la dinámica sedimentaria:

- de las playas arenosas, y/o
- de las formaciones de dunas.

El estudio se basa en la caracterización fractal de las particulas arenosas. Con esto, se puede explicar, en parte, la dinámica de transportes de áridos, tanto en el medio acuoso como por la acción del viento.

Tal explicación tiene mucho interés:

- En las transmisiones entre fluidos no newtonianos y newtonianos, asi como en la consolidación de estructuras sedimentarias.

- Y en el conocimiento y comprensión de un problema fisico particular.

Ambos hechos son necesarios para una óptima gestión de litorales determinados.

2. ENMARQUE Y DELIMITACIONES DEL ESTUDIO DE LOS FRACTALES, EN LOS PROCESOS Y EFECTOS FÍSICOS DEL LITORAL.

En una playa, o en una formación dunar, se consideran una serie de factores, determinantes de la mecánica que rige la cantidad de arena y su evolución. Una enumeración de estos seria:

1. Condicionantes fisicos estáticos macroscópicos: Se identifican con la topografia del sustrato, que incluye los soportes de los ambientes sedimentarios.

2. Condicionantes dinámicos. Corresponden a los que representan la influencia de los movimientos marinos, asi como la dinamica atmosférica, en el transporte de los áridos.

3. Condicionantes microscópicos: Son los texturales, que incluyen la morfoscopia de los elementos individuales.

El grupo primero está suficientemente estudiado por diferentes autores. Es evidente el interés que posee el soporte fisico, como recipiente de los volúmenes de arena, que conforman una playa o una formación

dunar, en especial, en lo referente a mediciones, para la ejecución de obras, redacción de proyectos de conservación, mitigación de determinados impactos en proyectos de desarrollo, etc..

El grupo segundo abarca a un área activa de investigación. En esta, se trata de establecer las relaciones entre:

- los parámetros de los movimientos marinos y atmosféricos, y

- las variaciones de forma y volumen de los depósitos sedimentarios de playas y/o dunas (procesos de erosión, de acreción, de desplazamientos, etc.).

La mayoría de los trabajos, en este campo, se dirigen:

- hacia el análisis energético, y

- el establecimiento de balances, en la evolución de la cantidad y distribución espacial de los áridos.

Finalmente, el grupo tercero se compone de los estudios, a pequeña escala, que tienden a tener en cuenta las características físicas, químicas, geométricas, etc., de los componentes individuales de los áridos. En este campo, se han llevado a cabo estudios sistemáticos de las diferentes propiedades, sobre todo, de la composición química, densidad, y otros. Los aspectos geométricos de los áridos son muy importantes, y este es el objetivo de este tipo de estudio.

La dinámica global, de una masa de arena, puede estudiarse:

- si se considera la masa total (lo que equivale a un análisis estadístico promedio), o bien,
- si se tienen en cuenta las propiedades individuales de sus componentes.

Este segundo aspecto presenta un cierto paralelismo con la Biología. El comportamiento global de un sistema macroscópico viene gobernado por el de los menores constituyentes elementales. Así, un ser vivo está determinado por la información genética transmitida por sus cromosomas. Existe una "huella" a nivel molecular, que es el fundamento del sistema global.

En este caso, el estudio del conjunto de las propiedades microscópicas de la arena (físicas, químicas y geométricas), unidas a la interacción con el ambiente externo, que conlleva los movimientos marinos y atmosféricos, determinará la evolución futura de la masa inerte, que define a la playa o formación dunar.

Los aspectos físicos, que contribuyen a la formación de la arena (desmenuzamiento mecánico de rocas primitivas, conchas o caparazones, etc.), se desarrollan a escalas tan grandes que, para los fines de una geometría fractal, se pueden considerar como inexistentes. Se admite que existe un reservorio de arena previamente formada, que es inagotable.

En el apartado químico, se formula una hipótesis similar, debido a la naturaleza inerte, a corto plazo, de los minerales constitutivos de la arena.

La geometría de los granos de arena desempeña un papel importante en la dinámica ambiental. Esta actúa de diferente forma, según sean las características geométricas de los granos de arena: Un grano de forma compacta no será transportado con igual facilidad que otros, provistos de apéndices o excrecencias. Este hecho resulta fundamental en mecanismos como el de formación de dunas.

Se puede pensar que, para la formación de dunas, se precisa una buena clasificación de los áridos, dentro de un rango de diámetros idóneos, y un proceso de fluidización del sustrato arenoso.

La fluidización se consigue mediante la mezcla del aire y arena, favorecida por la rugosidad de los granos individuales. Una vez conseguida ese estado fluido, entran en juego los mecanismos a mayor escala, para que tenga lugar la acumulación y transporte de las dunas. Quizás sea éste también el mecanismo de formación de barras, en playas sumergidas.

De las consideraciones expuestas, se deduce la importancia de estas discusiones, acerca de la geometría de los granos de arena.

3. METODOLOGÍA DE LAS INFERENCIAS DE GEOMETRÍA FRACTAL, EN LA DINÁMICA DEL TRANSPORTE DE ÁRIDOS.

En la práctica, el abordaje de estos tópicos se ajusta a las siguientes fases de ejecución:

1. Toma de muestras representativas de diferentes playas arenosas y de campos de dunas asociados.

2. Estudio microscópico de las muestras, para obtener una clasificación y análisis morfométrico de las arenas. El estudio se hará mediante fotografías, desde el microscopio, tanto óptico como electrónico. Se digitalizarán después las imágenes.

3. Cálculos y estimaciones de dimensiones fractales, y análisis multifractal de los granos de arena. Este proceso requiere el desarrollo de los programas necesarios de ordenador, para los cómputos a partir de imágenes digitalizadas.

4. Establecimiento de una clasificación mediante las dimensiones fractales, y cruce de esta con otras macroscópicas (mineralógicas, por ejemplo), para la extracción de conclusiones de interés ambiental.

5. Identificación de las susceptibilidades de un sector de playa, o de la playa en su conjunto, como fuente de aportes sedimentarios, para la formación de dunas.

6. Determinación de la fracción más propicia, que permita un transporte, en este caso eólico, dentro de muestras globales de arenas.

Las fases anteriores llevan implícitas una metodología propia, que se resume de la siguiente manera:

1. Trabajo de campo y análisis elementales de naturaleza físico-química (tamizado, determinación de durezas, composiciones, etc.).

2. Definición de la dimensión fractal, para un objeto no puramente fractal, y escalas de fractalidad, dentro de la resolución de la microscopía. Desarrollo de un "software", que no es excesivamente complejo, para estos cálculos. En esencia, consiste en un algoritmo de búsqueda de puntos de un entorno, con un paso variable, dentro de cierto rango de valores y una interfaz gráfica.

3. Y manipulación estadística y contraste de hipótesis, entre las diferentes clasificaciones al uso, para determinar un criterio más fino, en la clasificación de playas y formaciones dunares solidarias.

CAPÍTULO 16

LA CARTOGRAFÍA DE LOS PROCESOS Y EFECTOS FÍSICOS EN EL LITORAL. SU APLICACIÓN A LAS FORMACIONES DUNARES LITORALES.

ESQUEMA:

1. Modalidades de mapas.
2. Representación de la información.
3. Las cartografías de las formaciones dunares litorales, a titulo de ejemplos.

1. MODALIDADES DE MAPAS.

La cartografía de un territorio puede dar lugar a diferentes tipos de mapas, necesarios:

- en la ordenación, planificación y manejo (gestión) de un territorio,
- así como en la valoración de impactos ambientales.

Cendrero (1987) recoge cinco modalidades de mapas, en los que la abstracción y la subjetividad aumentan progresivamente. De menor a mayor abstracción, estos serían:

- *Mapas de carácter descriptivo*, que abordan el conjunto de las características más diversas (temas), de un territorio. Se representan simplemente observaciones
- *Mapas de cualificación*. Se relacionan los distintos aspectos observables.
- *Mapas de evaluación*, en relación con la idoneidad del territorio, para la implantación de determinados usos.
- *Mapas en los que se representan los conflictos*, entre los posibles usos propuestos.
- Y *mapas de carácter prescriptivo*. Establecen lo que se debe hacer (propuestas de usos y recomendaciones).

Un simple mapa descriptivo, de cualquier tema, de entrada, aunque de manera incompleta, puede evolucionar a uno de usos y recomendaciones. Sirva de ejemplo el desarrollo que hace Bergström (1989), a partir de una cartografía morfodinámica general, para delimitar áreas de riesgos.

Más correctamente, los mapas de usos y recomendaciones deben derivar de un conjunto de mapas temáticos.

2. REPRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Usualmente, se admiten las siguientes metodologías:

- *Analítica*: Se levantan mapas temáticos por separado, que luego se superponen.
- *De integración*: El conjunto de elementos, necesarios para la ordenación, planificación y manejo de un territorio, se representan en un mismo mapa.

3. LAS CARTOGRAFÍAS DE LAS FORMACIONES DUNARES LITORALES, A TÍTULO DE EJEMPLOS.

El levantamiento de diferentes modalidades de cartografías se puede ejemplarizar en una formación de dunas litorales.

En estos ambientes sedimentarios, un inventario bastante enriquecido de mapas, en sus distintas modalidades, la mayoría de ellos acoplados a una metodología analítica, y que recogen muchos aspectos de los procesos y efectos físicos, que soportan estos escenarios, se ciñe a la siguiente secuencia:

- Mapas de distribución de las diferentes formas dunares.
- Mapas de la colonización vegetal de las dunas.
- Mapas de esquematización cualitativa y semicuantitativa de la dinámica eólica.
- Mapas de los condicionantes topográficos y de las barreras físicas.
- Mapas de las trayectorias de transportes eólicos de las arenas, diseñados con los valores de distribución de los parámetros D_{50} (medianas granulométricas).
- Mapas de intensidades de los procesos y efectos sedimentarios eólicos.
- Mapas actuales de individualización, localización y clasificación de las zonas terminales, de la actividad sedimentaria eólica.
- Mapas de como se localizaron, en tiempos pasados, los frentes terminales, de los procesos y efectos sedimentarios eólicos.
- Mapas de sectorización de la formación sedimentaria eólica, en relación con recomendaciones de gestión o propuestas de usos, en el propio espacio dunar, o en el conjunto del litoral implicado.

Estos mapas se obtienen:

- De análisis sistemáticos y de interpretaciones de mosaicos de fotografías aéreas, significativamente separadas en el tiempo.
- De observaciones in situ.
- Y de manipulaciones, representaciones e interpretaciones de conjuntos de características, identificadas y descritas después de apropiados muestreos en el campo y tratamientos en el laboratorio, y de disponer de series temporales significativas de datos meteorológicos.

Con toda la información recogida en las cartografías, se llegan a modelos físicos, que serán los soportes:

- para predicciones y prescripciones, aspectos muy importantes a tener en cuenta, y
- para la modelización matemática e informática.

Los modelos físicos se diseñan desde una doble perspectiva:

- Modelos parciales, en relación con las interdependencias en los sistemas dunas - playas arenosas.
- Y modelos globales, a manera de puzzles, respecto a la totalidad de los procesos y ef. sedimentarios de las arenas, donde se centra el desarrollo de la formación dunar.

De acuerdo con Paskoff (1985), y dado que las dunas litorales se solidarizan con las playas, a las que se encuentran asociadas, lo habitual es que las cartografías muestren que si éstas retroceden, aquellas tienen que replegarse, desplazarse hacia tierra adentro. Este desplazamiento resulta necesario, para que las dunas cumplan sus funciones de reservas sedimentarias. En caso contrario, se rompe el equilibrio físico en este tipo de ecosistemas, o mejor, de sistemas litorales.

Sin embargo, se deducen comportamientos aparentemente anómalos a los anteriores. Esto suele ocurrir en campos de dunas que fueron expansivos, delimitados externamente por una playa alimentadora y otra inestable, beneficiaria del almacén sedimentario eólico.

En estos campos, pueden haber retracciones, en coincidencia con un retroceso generalizado y progresivo, hacia tierra, de la playa usufructuaria inestable. Los escenarios de las dunas presentan procesos de ocupación a manera de "acordeón".

Este es el caso del Campo de Dunas de Maspalomas, en la Isla de Gran Canaria (España). Mientras retrocede hacia tierra la Playa de Maspalomas, en el límite meridional del Campo dunar, el límite interno del depósito eólico, hacia el Norte, se repliega en la actualidad. y ocupa posiciones cada vez más meridionales.

En los modelos globales, toman especial relevancia las cartografías de los diagramas de flujo, que describen:

- Fuentes de aportes de arena.

- Ambientes de deposiciones transitorias: las playas alimentadoras, perceptoras de los aportes, por transportes marinos de deriva, parte de los cuales pasarán a las dunas.

- Los trasvases eólicos de arena.

- La dinámica de los escenarios propios de las dunas.

- Las alimentaciones de arena, desde las dunas a playas de erosión, para amortiguar el retroceso de la orilla, o recuperar sus posiciones iniciales, previas a temporales.

- Y los sumideros de arenas.

CAPÍTULO 17

LA CALIDAD AMBIENTAL Y LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS LITORALES: EL CASO DE LAS PLAYAS ARENOSAS.

ESQUEMA:

1. Conceptos básicos previos.

2. Metodología estándar, con sus fundamentos.

3. Cálculo de calidades.

4. Ejemplo de estimación de una calidad ambiental, en un prototipo de playa arenosa.

5. Descriptores de vulnerabilidad: Conceptos y metodología de cálculo.

6 Ejemplos de descriptores físicos de vulnerabilidad, válidos para las playas arenosas.

7. Indicadores de vulnerabilidad: Conceptos y metodología de cálculo.

8. Ejemplo de cálculo de un indicador físico de vulnerabilidad, para una playa arenosa. .

1. CONCEPTOS BÁSICOS PREVIOS.

En este capítulo, se pretenden estimar calidades ambientales, contrastables, para unas unidades territoriales particulares (las playas arenosas), que se puedan homologar en diferentes entornos regionales. Esto sería el punto de arranque para el análisis de sustentabilidades, de proyectos de desarrollo.

Se entiende por calidad ambiental aquella que se basa, conjuntamente, en parámetros, o componentes, de una serie de calidades, tales como la calidad natural, la calidad para el hombre, la calidad de recursos potenciales, entre otras, pero desde la perspectiva de un usufructo por el hombre.

Los *componentes ambientales* corresponden a las variables o parámetros más representativos, que sirven para caracterizar a una unidad ambiental determinada, independientemente del entorno geográfico donde se encuentre.

La evaluación de los componentes se hará conforme con unos criterios, elaborados previamente por un equipo multidisciplinar, lo más amplio posible. Se utilizarán, con prioridad, medidas obtenidas de forma precisa, con el instrumental adecuado y con el empleo de tablas, preferentemente estandarizadas.

La cuantificación numérica llevará implícita coeficientes:

- de importancia,
- espaciales,
- temporales, y
- de probabilidad de presentación,

en tantos por uno.

2. METODOLOGÍA ESTÁNDAR, CON SUS FUNDAMENTOS.

Se desarrolla una metodología conforme:

- a la definición y delimitación de unidades territoriales o ambientales.
- a la identificación de sus componentes significativos de caracterización.
- a la cuantificación numérica de estos componentes,
- y a la combinación de los componentes ambientales, mediante la opción operacional adecuada.

Los valores óptimos de los componentes, en una unidad ambiental específica, alcanzarían un valor de 10. A medida que los parámetros se alejan de los valores óptimos, disminuye la calidad de la unidad ambiental.

Se tienen que definir criterios y operaciones, de forma tal, que la estimación que se obtenga, para una determinada unidad ambiental, se pueda contrastar con las de otras unidades homologables, situadas en diferentes regiones.

La sustentabilidad de un proyecto de desarrollo se analizará en función de la caída de calidad ambiental, en la unidad territorial en cuestión. Las caídas de calidades tendrán significados diferentes, según las calidades de partida. Además, habrá de tenerse en cuenta si ese proyecto afecta a parámetros excluyentes, entre los de permisibilidad, del índice de uso.

3. CÁLCULO DE CALIDADES.

En primer lugar, hay que seleccionar o diseñar, los componentes significativos, u operativos de la unidad ambiental en estudio.

Para el cálculo de una calidad (natural, ambiental o de cualquier otro tipo), se aplicará una expresión donde los componentes aparezcan como sumandos. Los valores de estos estarán dentro de una escala arbitraria, por ejemplo, entre 0 y 10.

Como todos los componentes no tienen la misma importancia, éstos estarán afectados por coeficientes, en tantos por uno, en relación con el conjunto de parámetros seleccionados. De esta manera, en el caso hipotético de una calificación máxima en cada uno de los parámetros, no se rebasará la escala establecida.

Según las premisas anteriores, la expresión matemática de una calidad se configura como sigue:

$$c = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \left[k_i e_j t_i p_i N_{ij} \right] q_i$$

c = calidad, en una escala de 0 a 10.

k_j = coeficiente de los componentes de calidad, en tantos por uno, de acuerdo con la importancia de los mismos.

e_j = coeficiente espacial, en tantos por uno.

t_j = coeficiente temporal, en tantos por uno.

p_j = coeficiente de probabilidad de presentación, en tantos por uno.

N_{ij} = componente que se evalúa, en una escala de 0 a 10.

m = número de componentes que se consideran.

n = número de sub-unidades ambientales.

q_j = coeficiente espacial de la sub-unidad ambiental.

Cuando intervienen varias sub-unidades, la calidad total sería la suma de las calidades de cada sub-unidad, afectada por sus respectivos coeficientes espaciales.

Esta formulación no es mas que la forma elegante de recopilar la información de una calidad, que se ha obtenido a partir de las observaciones de campo y/o laboratorio.

De acuerdo con la anterior expresión, la calidad está en una escala de 0 a 10. Sin embargo, en la actualidad, algunos equipos de trabajo suelen hacer las estimaciones en una escala de 0 a 1. Para homologar los valores que se obtienen aquí, respecto a estos grupos de trabajo, basta con dividir los resultados por 10.

Por otra parte, dado que la calidad de un territorio depende, en buena medida, de la abundancia, o peculiaridad, de algunos de sus parámetros, a nivel:

- regional,
- de un país,
- o del cunjunto de la Tierra,

se debe considerar una escala de evaluación de la rareza (por ejemplo, de 1 a 10). Este nuevo valor multiplicará a la cualificación total de la calidad ambiental.

Así, en un ambiente de manglar, dentro de un entorno kárstico que tuviera grabados de petroglifos (elementos etnográficos aborígenes), como ocurre en el Parque Nacional de Morrocoy (Venezuela), la calidad global del territorio se podría multiplicar por un coeficiente 10 (valor máximo en la escala de rareza).

4. EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE UNA CALIDAD AMBIENTAL, EN UN PROTOTIPO DE PLAYA ARENOSA.

En relación con una calidad ambiental, y de acuerdo con los aspectos físicos de una playa, los componentes ambientales a considerar son, entre otros:

1. La dimensión del depósito, en relación con el potencial de uso. Coeficiente de importancia: 0.113.

2. La estabilidad del depósito sedimentario. Comprende, además, la estabilidad de las formas geológicas y obras marítimas, que intervienen en los procesos físicos del depósito sedimentario. Coeficiente de importancia: 0.113.

3. La caracterización de los áridos (coloración, texturas, densidad, adherencia, etc.). Coeficiente de importancia: 0.113.

4. La climatología (temperatura y humedad, vientos e insolación). Coeficiente de importancia: 0.097.

5. Los riesgos físicos antrópicos (por ejemplo, proximidad de un polvorín). Coeficiente de importancia: 0.097.

6 Las barreras topográficas, que condicionan la accesibilidad a la playa. Coeficiente de importancia: 0.081.

7. La movilidad eólica de las arenas, para formar dunas solidarias. Coeficiente de importancia: 0.065.

8. Los riesgos del entorno:

   - tanto geomorfológicos del relieve circundante (por ejemplo, los desprendimientos desde grandes acantilados que bordeen a la playa seca),
   - como los debidos a la peligrosidad oceanológica ocasional o inusitada.

   Coeficiente de importancia: 0.065.

9. Las condiciones oceanológicas habituales (corrientes de resaca, remolinos, oleaje y otras). Coeficiente de importancia: 0.065.

10. La calidad física del agua (el grado de limpidez y transparencia por la carga de sedimentos: turbidez sedimentaria). Coeficiente de importancia: 0.065.

11. Los grandes riesgos naturales: sísmicos, volcánicos y meteorológicos. Entre los últimos, están los huracanes y las tormentas huracanadas. Coeficiente de importancia: 0.048.

12. Presencia de sonidos. Coeficiente de importancia: 0.030.

13. El paisaje físico envolvente, que caracteriza la morfología fisiográfica delimitante. Se incluyen las singularidades geológicas, que revalorizan al territorio. Coeficiente de importancia: 0.025.

14. Los impactos físicos que se detectan. Coeficiente de importancia: 0.024.

Los coeficientes de importancia estimados son válidos siempre y cuando se considere este conjunto de componentes. Si entraran otros, o se eliminaran algunos, habría que reajustar tales coeficientes.

Sea el caso de una playa y su entorno, que se ajustan a las siguientes características:

1. La playa representa el 0.25, en tantos por uno, de la superficie, en proyección ortogonal, de la unidad ambiental.

2. El ambiente sedimentario se encuentra ubicado, junto a otros, también playeros, pero de reducidas dimensiones, en una amplia caleta, que encierra a una provincia morfodinámica.

   La caleta está configurada por acantilados basálticos tableados, sobre piroclastos. Entre estos acantilados, se desarrollan depósitos arenosos.

   Los acantilados tienen poca altura de coronación (unos ocho metros), y no representan riesgos de desprendimientos. Están bastante alejados de la playa seca usufructuaria.

3. Desde la playa, se observa una diversidad topográfica, que define varios horizontes con fuertes roturas de líneas. Esto revaloriza el paisaje del entorno, desde el "punto singular" de la playa.

4. En el litoral, donde se ubica la playa, se identifica una elevación media del nivel del mar de unos 0.5 milímetros anuales.

5. La costa de la playa forma parte de una estrecha plataforma litoral (de varios cientos de metros) y abrupta (con una pendiente media superior a un 5 %).

6. Dentro de una subcaleta rebajada, que no impide un transporte libre, la playa define a un ambiente arenoso, de 800 por 250 metros en bajamar viva, inestable, y significativamente disipativo a lo largo de ciclos sedimentarios cortos.

7. Las arenas son grises oscuras, de granulometrías medias bien clasificadas, y de naturaleza basáltica.

8. Los aportes sedimentarios, que alimentan a las playas, proceden, en su mayor parte, de un barranco (quebrada), localizado aguas arriba. Las aguas llegan al mar unos 20 días al año, por término medio.

9. A lo largo de la provincia morfodinámica, donde se encuentra la playa, el ángulo de incidencia y la energía del oleaje dominante aseguran una buena capacidad de transporte longitudinal.

10. El depósito playero corresponde a un sistema sedimentario abierto. Los aportes externos dependen del barranco situado aguas arriba. La playa sirve de eslabón sedimentario de las otras secundarias, de aguas abajo.

11. La playa principal se encuentra sometida, durante unos 15 días, a temporales de un clima marítimo dominante. La probabilidad de que se den estos temporales erosivos, a lo largo del año, es de un 90 %.

    Hay ausencia de tormentas huracanadas.

    El ambiente está resguardado de los temporales regionales.

    A lo largo de 216 días, en un año, sólo hay corrientes peligrosas, con remolinos, en los extremos de los márgenes, que representan el 30 % de la superficie de playa (emergida más sumergida). La probabilidad de que se dé esta estimación es de un 85 %

12. Por lo general, no se observa turbidez sedimentaria en el conjunto de playas.

13. La playa no tiene dunas solidarias..

14. En las proximidades de la playa, no hay instalaciones, que supongan riesgos peligrosos para los usufructuarios.

15. El territorio carece, y dista considerablemente, de una red adecuada de infra-estructuras de servicios (distribución de agua potable, alcantarillado, tendidos eléctricos y telefónicos, etc.), que haga a la playa idónea como recurso lúdico y turístico en general.

16. El clima atmosférico, a lo largo de 252 días al año, reúne las siguientes condiciones.

    - mesotérmico,
    - árido,
    - ausencia de vientos molestos,
    - y con días soleados.

    Estas condiciones tienen una probabilidad estadística de cumplirse de un 80 %.

17. Las condiciones climáticas, el componente paisajístico y unas vías de comunicación próximas, muy aceptables, permitirían el desarrollo de un importante turismo.

18. El relieve y sus características geológicas y biológicas no crearían problemas en la ampliación de la red viaria.

19. Los terrenos colindantes con la playa, el 75 % de la unidad territorial, son baldíos y tienen una vegetación escasa, pero contrastada en la zona. Así quedan individualizados del resto. La fauna terrestre, poco abundante, se caracteriza por especies a extinguir. También destaca la nidificación de aves protegidas, en acantilados próximos.

20. En las cercanías no hay enclaves arqueológicos, ni otros entornos de interés etnográfico.

21. Estos terrenos han sido recalificados para uso urbanístico (residencial estacional, por ejemplo).

22. La flora y fauna marinas son poco significativas.

23. Las zonas emergidas y marina, de la unidad ambiental, se utilizan, habitualmente, como vertederos de residuos sólidos. Estos vertidos afectan a la calidad de las aguas, y hacen que se carguen de un contenido bacteriológico patógeno.

24. El núcleo poblacional usufructuario, que se encuentra a unos 25 kilómetros de la playa a intervenir, tiene unos 25 000 habitantes y sufre una elevada tasa de paro o desempleo (un 22%).

En el ejemplo, y en el cálculo de la calidad ambiental, se utilizan los componentes ambientales inventariados y definidos al comienzo de este epígrafe. En la tabla 15, se condensan los valores de estos, junto con los de sus coeficientes, y la calidad ambiental de la playa , que se estudia a título de ejemplo.

1	2	3	4	5	6	7	8
01	10.00	0.113	1.000	1.000	1.000	1.1300	
02	01.00	0.113	1.000	1.000	1.000	0.1130	
03	06.00	0.113	1.000	1.000	1.000	0.6780	
04	07.50	0.097	1.000	0.700	0.800	0.4074	
05	10.00	0.097	1.000	1.000	1.000	0.9700	
06	10.00	0.081	1.000	1.000	1.000	0.8100	
07	00.00	0.065	1.000	1.000	1.000	0.0000	
08	10.00	0.032	1.000	1.000	1.000	0.3200	a
08	10.00	0.032	1.000	0.959	0.900	0.2760	b
09	00.00	0.016	0.300	0.600	0.850	0.0000	c
09	10.00	0.016	0.700	0.600	0.850	0.0570	c
09	10.00	0.032	1.000	0.400	0.850	0.1088	d
10	10.00	0.032	0.700	1.000	1.000	0.2240	e
10	03.00	0.032	0.300	0.600	0.850	0.0147	e
11	10.00	0.048	1.000	1.000	1.000	0.4800	
12	10.00	0.030	1.000	1.000	1.000	0.3000	
13	08.00	0.024	1.000	1.00	1.000	0.1920	
14	00.00	0.024	1.000	1.000	1.000	0.0000	
CALIDAD AMBIENTAL FÍSICA = 6.0810							

Tabla 15.

Ejemplo de estimación de una calidad ambiental física, en una playa arenosa.

1 = siglas del componente. 2 = valor del componente. 3 = coeficiente de importancia. 4 = coeficiente espacial (en este caso, hace referencia a la sub-unidad). 5 = coeficiente temporal. 6 = coeficiente de probabilidad de presentación. 7 = valor de la fila. 8 = observaciones: a = nulo riesgo geomorfológico. b = de acuerdo con los temporales. c = corrientes marginales peligrosas. d = sin corrientes marginales peligrosas. e = en relación con la turbidez de las corrientes marginales.

La estimación de la calidad ambiental física se ha hecho según una escala de 0 a 10.

Una calidad ambiental, con un valor de 6.08, como el que se ha calculado, traduce que el sistema es bastante mediocre.

El valor de cero implicaría una calidad mínima. El sistema podría absorber muy bien impactos ambientales. Mientras que un valor de diez quiere decir que el sistema ambiental gozaría de una buena salud, lo que conlleva una gran fragilidad, o mínima capacidad de absorber impactos.

5. DESCRIPTORES DE VULNERABILIDAD: CONCEPTOS Y METODOLOGÍA DE CÁLCULO.

Los descriptores de vulnerabilidad describen, con valoraciones semi-cuantitativas, de forma numérica, las variables, condicionantes y dependencias de las causas, procesos y efectos que intervienen en la formación y equilibrio de los sistemas "naturales", sin ningún tipo de intervención antrópica explícita.

Los descriptores de vulnerabilidad traducen los riesgos parciales de que un sistema acotado pierda su equilibrio, o de que se haga más desequilibrado, todo ello de forma natural. Sin embargo, estos riesgos parciales pueden provocar repercusiones generales, por concatenaciones cruzadas, entre las variables, condicionantes y causas, que definen al sistema.

Los descriptores deben tener enunciados amplios, pero de modo tal que permitan recoger, de una manera precisa, los comportamientos de los sistemas en estudio.

Un sistema será menos vulnerable:

- cuando sea menor el número de descriptores,
- y o a medida que los descriptores y sus diferentes coeficientes tengan los valores más bajos.

En principio, los descriptores de vulnerabilidad se clasifican en:

- generales, y
- específicos.

Los descriptores generales son aquellos que se pueden extrapolar, en cierta manera, a cualquier tipo de "sistema ambiental" acotado. En cambio, los descriptores específicos son los propios, o peculiares, de un "sistema" determinado.

Los descriptores generales y específicos se subdividen, a su vez, en:

- geodescriptores,
- biodescriptores,
- y de calidad de vida.

Los geodescriptores hacen referencia al biotopo, al recipiente físico que sustenta al sistema ambiental.

Los biodescriptores se centran en la biocenosis del "recipiente". Entre otras muchísimas cosas, se considera la biodiversidad.

Los descriptores de calidad de vida se centran en todos los componentes "abióticos" del sistema (aire y agua), encerrados en el "recipiente" físico, y que afectan, o repercuten, de una u otra manera, en el desarrollo de la biocenosis. Estos descriptores condicionan, en mucho, la calidad y las situaciones de optimicidad de las comunidades vivientes.

6. EJEMPLOS DE DESCRIPTORES FÍSICOS DE VULNERABILIDAD, VÁLIDOS PARA PLAYAS ARENOSAS.

Un banco selectivo de los descriptores físicos de vulnerabilidad, específicos de las playas arenosas, podrían constituir una especie de guía procedimental, para el estudio del comportamiento sedimentario, en estos sistemas, aparte de permitir la estimación de un indicador de la vulnerabilidad física.

Un listado estándar de tales descriptores físicos sería:

1. El ascenso relativo del nivel del mar.

Los movimientos eustáticos positivos, o los movimientos epirogénicos negativos, en cuanto que pueden determinar el retroceso de una playa, representan un alto riesgo de vulnerabilidad.

Los anteriores movimientos, con signos contrarios, traducen situaciones que favorecen los desarrollos internos de playas, y, en consecuencia, hacen que disminuyan los riesgos de vulnerabilidad.

Las tentativas de valoración de este descriptor se harían conforme con los siguientes criterios:

- Se identifican movimientos epirogénicos positivos, o eustáticos negativos: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- Existen movimientos, pero no tienen unas determinadas pautas generalizadas: 5.0 unidades de vulnerabilidad.

- Hay movimientos epirogénicos negativos, o eustáticos positivos: 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia: 0.063.

2. Ubicación de la playa, en la cartografía morfodinámica de su litoral.

De esta localización, puede depender las fuentes de aportes de áridos.

La vulnerabilidad de la playa disminuirá a medida que unos relieves, normalmente acantilados y/o unas bajas, aguas arriba de su provincia morfodinámica, sean más erosionables, por el oleaje dominante, de incidencia oblicua.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- Aguas arriba hay relieves emergentes y bajas muy erosionables, que aseguran la alimentación sedimentaria de las playas aguas abajo: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- Sólo hay relieves emergentes o bajas erosionables: 2.5 unidades de vulnerabilidad.

- No existen relieves emergentes ni bajas erosionables: 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.089.

3. Los aportes de áridos, desde aguas superficiales encauzadas, con desembocaduras aguas arriba.

Esta dependencia aumenta la vulnerabilidad de una playa, en cuanto que los aportes de áridos van a estar sometidos, en una cierta medida, a factores exógenos, respecto a una dinámica oceánica.

Los factores exógenos son, principalmente, dos:

- La evolución de la cobertera vegetal, que repercute en la potencialidad de erosión de la cuenca. A mayor vegetación, menor erosión, lo que implica menor disponibilidad de áridos en el litoral, para alimentar de arenas a las playas.

- Y las condiciones meteorológicas, que influyan en las capacidades de erosión, en las laderas, de las aguas de arroyada, y de erosión y transporte de las aguas superficiales encauzadas. Cuanto mayor sean las erosiones y transportes hacia el litoral, habrán mayores disponibilidades de arenas, para los procesos que rigen la estabilidad de las playas. Y esto, a su vez, implicaría una menor vulnerabilidad de los depósitos playeros.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- No intervienen los aportes de áridos de aguas superficiales encauzadas: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- Los terrígenos de aguas superficiales encauzadas sólo intervienen parcialmente: 5.0 unidades de vulnerabilidad.

- Intervienen decisivamente los aportes de áridos de aguas superficiales encauzadas: 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.076.

4. Localización y orientación geográfica de la playa.

Explican, en dependencia con el clima marítimo, los procesos de pérdidas y ganancias sedimentarias.

La vulnerabilidad aumentará cuando más expuesta se encuentre la playa a los oleajes erosivos dominantes y reinantes.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- La playa siempre está resguardada de oleajes erosivos dominantes y reinantes: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- La playa se encuentra resguardada de los oleajes erosivos dominantes, pero no de los reinantes: 5.0 unidades de vulnerabilidad.

- La playa recibe oleajes erosivos dominantes, pero no hay oleajes erosivos reinantes. Se pierde arena con situaciones de temporales. El oleaje restante dominante, normalmente con una cierta energía, impide procesos de acreción: 7.5 unidades de vulnerabilidad.

- La playa está abierta a los oleajes erosivos dominantes y reinantes: 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.101.

5. El clima marítimo, que incide en la playa, con sus repercusiones hidrodinámicas.

Explican también, y en gran medida, los procesos de ganancias y pérdidas sedimentarias. Aquí, los procesos se relacionan con los comportamientos morfodinámicos del depósito. Por otra parte, estos comportamientos se tendrán en cuenta en otro descriptor.

En general, dentro de la valoración del descriptor, con una mayor probabilidad de presentación y energía de temporales aumenta la vulnerabilidad.

La tentativa de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- Se observa una ausencia de temporales: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- Sólo hay temporales muy energéticos de forma inusitada: 5.0 unidades de vulnerabilidad.

- Se dan temporales erosivos con mucha frecuencia (varios al año): 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia: 0.089.

6. La morfología del contorno, en relación con la energía del oleaje.

Un depósito de playa puede deber su estabilidad a que la energía del oleaje incida, en el ambiente, de una forma atenuada. La probabilidad de destrucción, por erosión, de algún elemento morfológico, de atenuación del oleaje, se traduciría como vulnerabilidad del sistema sedimentario.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- Presencia de elementos morfológicos en buen estado de conservación, sin signos de una previsible erosión significativa: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- Presencia de elementos que aún atenúan la energía del oleaje, pero desempeñando este papel a corto plazo, por los procesos de erosión que soportan: 5.0 unidades de vulnerabilidad.

- Los elementos morfológicos han dejado de representar, en buena medida, el papel de disuasión energética: 7.5 unidades de vulnerabilidad.

- Hay elementos morfológicos muy degradados, ya inoperantes, pero que desempeñaron, en un pasado reciente, un papel decisivo en la formación y evolución de la playa: 10.0 unidades de vulnerabilidad.

- Se da una ausencia de elementos morfológicos, para atenuar la energía del oleaje: 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.076.

7. La situación de la estabilidad sedimentaria.

Este descriptor está muy relacionado con el grado de ajuste del perfil de playa a una curva de equilibrio, en dependencia con el nivel medio del mar, las características oceanológicas del oleaje y la naturaleza y características de los áridos.

Una playa se podría encontrar:

- En inestabilidad, con un retroceso generalizado de su orilla. Normalmente esto coincide cuando el perfil está por debajo de la curva de equilibrio. En esas circunstancias, el mecanismo que provoca la inestabilidad es la Regla de Bruun.

- En estabilidad. El perfil tiende a coincidir con el de la curva de equilibrio.

- O en hiper-estabilidad. En este caso, el perfil suele levantarse sobre el de la curva de equilibrio.

La hiper-estabilidad supone que la playa tiene una reserva de áridos, como para que no se ponga en peligro su depósito, ante transitorias alteraciones naturales negativas (elevaciones del nivel del mar, por temporales), en la dinámica de los procesos sedimentarios. Entonces, la vulnerabilidad tendría un valor nulo o pequeño. La interpretación de la sobre-elevación del perfil de playa, respecto al de la curva de equilibrio, implica que, ante aumentos meteorológicos del nivel medio del mar, el riesgo de erosión , en la playa interna, sea mínimo.

En cambio, cuando una playa se encuentra en inestabilidad, ante esas mismas alteraciones, las repercusiones negativas, en la playa, serían muy acusadas. Habría un alto riesgo de vulnerabilidad.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- El depósito interno de áridos se encuentra en hiper-estabilidad sedimentaria, o el perfil generalizado de la totalidad de la playa se encuentra sobre el de la curva de equilibrio: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- El perfil de playa coincide con el de la curva de equilibrio: 2.5 unidades de vulnerabilidad.

- El depósito interno de áridos está sometido a una inestabilidad, o el perfil generalizado de playa está por debajo del perfil de la curva de equilibrio: 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia: 0.051.

8. Los transportes transversales de la playa, hacia mar abierto, de acuerdo con su comportamiento morfodinámico. Aquí se incluye los rip currents.

La presencia de estos transportes hace que aumente la vulnerabilidad del depósito sedimentario más interno.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- Inexistencia de transportes transversales (playa reflectiva): 0 unidades de vulnerabilidad.

- Existencia de transportes transversales (playa con estadios disipativos, a lo largo de ciclos sedimentarios cortos, y/o con elementos geomorfológicos, o hidrodinámicos, que favorecen la formación de rip currents): 7.5 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.051.

9. Conjunto de variables y condicionantes que determinan, en un litoral, un transporte longitudinal, próximo a la orilla, libre o impedido.

Los litorales de transportes libres están expuestos a más riesgos, en cuanto a fluctuaciones en los balances sedimentarios, y ello conlleva una mayor vulnerabilidad en la estabilidad sedimentaria de sus playas arenosas.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- El litoral se clasifica como de transporte impedido: 0 unidades de vulnerabilidad.

- Se desarrolla un transporte longitudinal libre: 7.5 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia: 0.038.

10. Comportamiento del sistema sedimentario como abierto o cerrado.

La "estaticidad" de un depósito playero, considerado en su conjunto, está más garantizada en un sistema sedimentario cerrado. En esas circunstancias, la vulnerabilidad disminuye.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- La playa corresponde a un sistema cerrado: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- La playa se identifica como un sistema mixto: 5.0 unidades de vulnerabilidad.

- La playa tiene un comportamiento de sistema abierto: 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia: 0.038.

11. Capacidad de transporte longitudinal, en periodos de "bonanza", a lo largo del litoral, de la provincia morfodinámica, que engloba a la playa, con una fuente de aportes sedimentarios, aguas arriba.

En playas de un litoral de transporte libre, un aumento de la capacidad de transporte, desde aguas arriba, garantiza un posible suministro de áridos, si existen las fuentes sedimentarias apropiadas. De esta manera disminuye la vulnerabilidad.

En playas a sotamar de un abrigo, puede ocurrir que, para unas determinadas circunstancias del oleaje, sea posible una capacidad de transporte hacia aguas abajo, no impedida por la morfología de contorno.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- Una buena potencialidad de transporte, en periodos de acreción, a lo largo de un litoral de transporte libre, implica la posibilidad de llegada de arenas, desde aguas arriba, a las playas que se comporten como sistemas abiertos: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- Buena potencialidad de transporte longitudinal, sin obstáculos geomorfológicos, hacia aguas abajo, desde una playa, objeto de estudio, a sotamar de un abrigo. La playa podría perder parte de su depósito sedimentario, sin que llegase aportes, durante el periodo de acreción: 5.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.076.

12. Desarrollo de transportes longitudinales en la playa, en dependencia con distintas condiciones de corrientes, que generen diferentes situaciones oceanológicas del oleaje.

Diferentes diagramas de transporte en playas, para oleajes de procedencias variadas, aseguran basculaciones sedimentarias compensatorias, que corrigen las posibles irregularidades, en planta, que se hayan formado por una cierta persistencia de unas condiciones oceanológicas dadas.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- Se suceden diferentes diagramas de transporte, de sentidos opuestos, que regularicen una planta de playa. O se desarrolla un diagrama adecuado, de forma "constante", para garantizar una playa, que se formó a partir de una singularidad geométrica negativa (una flecha): 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- Se desarrollan diagramas inadecuados para asegurar la vida sedimentaria de una playa, formada a partir de una "g": 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.025.

13. Caracterización de las variables, que rigen las formas de los depósitos sedimentarios de la playa, en planta y en perfil. Incluye la parametrización de los condicionantes, que determinan la morfología genética de la playa.

La estabilidad del depósito sedimentario, o lo que es lo mismo, el grado de vulnerabilidad de la playa más interna, está muy ligada a la morfología de contorno. Esto ha servido para el desarrollo de una clasificación genética, la de Suárez Bores (1978), empleada, básicamente, en los diseños de playas artificiales.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- Se trata de una playa en bolsillo, óptimamente dimensionada, con contención: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- El depósito playero se clasifica simplemente como de bolsillo, óptimamente dimensionada: 2.5 unidades de vulnerabilidad.

- La playa se desarrolla en una caleta, donde la longitud está sobredimensionada: 5.0 unidades de vulnerabilidad.

- La playa se encuentra en un ambiente abierto: 7.5 unidades de vulnerabilidad.

- El depósito de arenas se localiza en la proximidad de una singularidad másica negativa (sumidero sedimentario "puntual"). 10 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.076.

14. Presencia de una plataforma litoral.

La plataforma litoral, sobre la que se asienta la playa, debe ser lo suficientemente amplia y suave, para que puedan desarrollarse, óptimamente, muchos de los procesos físicos descritos, que aseguren la recuperación sedimentaria de la playa, tras las pérdidas de áridos. En la medida que no ocurriese esto, se acrecentaría la vulnerabilidad de la playa, sobre todo si se imposibilita la aparición de los procesos imprescindibles para la formación del depósito arenoso.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- Presencia de una amplia y suave plataforma litoral (de varios kilómetros y pendientes inferiores a 1.5 %): 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- Existencia de una estrecha y abrupta plataforma litoral (varios cientos de metros y pendientes superiores a un 5 %): 10 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.089.

15. Dependencias de la playa con formaciones de dunas litorales.

En periodos de temporales, las formaciones dunares litorales, solidarias a las dunas, mitigan las erosiones de los depósitos más internos, dependientes del oleaje, y aseguran la salud sedimentaria de los mismos, mediante procesos de reposición de áridos.

Las tentativas de valoración, de este descriptor, se harían conforme con los siguientes criterios:

- Presencia de formaciones dunares solidarias: 0.0 unidades de vulnerabilidad.

- Ausencia de formaciones dunares solidarias: 10.0 unidades de vulnerabilidad.

Coeficiente de importancia del descriptor: 0.063.

En las valoraciones, una vulnerabilidad de 10.0 unidades no traduce una precariedad del ambiente, sino que está expuesto a serios riesgos potenciales, que pueden hacer peligrar su equilibrio físico y/o ecológico, si es que éste tenía lugar.

Los coeficientes de importancia son válidos siempre y cuando se considere el conjunto descrito de descriptores. Si entraran otros, o se eliminaran algunos, habría que reajustar estos coeficientes.

Los bancos de descriptores deben conducir a modelajes físicos, informáticos (simulaciones) y matemáticos (o numéricos), de las causas, procesos y efectos que acontecen, en los ambientes que se estudian.

7. INDICADORES DE VULNERABILIDAD: CONCEPTOS Y METODOLOGÍA DE CÁLCULO.

Un indicador de vulnerabilidad corresponde a una expresión analítica, que combina, mediante las opciones operacionales apropiadas, las valoraciones numéricas de los descriptores de vulnerabilidad, con sus respectivos coeficientes.

Un indicador de vulnerabilidad traduce, globalmente, el "riesgo" de perderse el equilibrio en un sistema, o de hacerse más desequilibrado, todo ello de forma natural, sin la intervención del hombre. Los descriptores, de este indicador, sólo muestran riesgos parciales, pero pueden provocar repercusiones generales, por concatenaciones cruzadas, entre las variables, los condicionantes, las dependencias y las causas determinantes, que definen al sistema.

Un sub-indicador estaría definido por ecuaciones parciales, que intervendrán en otras más complejas o completas.

En el cálculo del indicador de vulnerabilidad, se podría utilizar una sumatoria, de los distintos descriptores que intervienen, con sus respectivos coeficientes de importancias, espaciales temporales y de probabilidad de presentación, específicos del caso en estudio.

En este caso, la expresión analítica sería:

$$Iv = \sum_{i=0}^{n} q_i d_i$$

donde:

Iv = indicador de vulnerabilidad.

q_i = producto de coeficientes.

d_i = descriptor de vulnerabilidad.

n = número de descriptores.

En general, se opera como sigue:

a). Se hace el listado, lo más completo posible, de los descriptores que forman e intervienen en el equilibrio de un sistema.

b). Se valora el grado de participación potencial en el sistema, en una escala positiva, por ejemplo, de 0 a 10.

c). Se atribuyen a los descriptores sus correspondientes coeficientes, en tantos por uno.

d). Se aplica la expresión analítica.

La metodología gozaría de bondad siempre que discrimine, significativamente, y en relación con los valores numéricos, los indicadores que se obtienen para un mismo tipo de sistema, pero en circunstancias distintas, bastante diferenciadas o distanciadas, por estimaciones "ojímetras" apriorísticas.

8. EJEMPLO DE CÁLCULO DE UN INDICADOR DE VULNERABILIDAD, PARA UNA PLAYA ARENOSA.

Sea el caso de la anterior playa y su entorno. En este ejemplo, se utilizan los descriptores ya inventariados, para estos tipos de ambientes, en relación con las causas, procesos y efectos sedimentarios. Los descriptores en cuestión, y sus coeficientes, toman los valores que se recogen en la tabla 16.

1	2	3	4	5	6	7
01	10.00	0.063	1.000	1.000	1.000	0.630
02	05.00	0.089	1.000	1.000	1.000	0.445
03	10.00	0.076	1.000	0.056	1.000	0.043
04	07.50	0.101	1.000	1.000	1.000	0.758
05	07.50	0.089	1.000	0.042	0.900	0.025
06	10.00	0.076	1.000	1.000	1.000	0.760
07	10.00	0.051	1.000	1.000	1.000	0.510
08	07.50	0.051	1.000	1.000	1.000	0.382
09	07.50	0.038	1.000	1.000	1.000	0.285
10	10.00	0.038	1.000	1.000	1.000	0.380
11	00.00	0.076	1.000	1.000	1.000	0.000
12	05.00	0.025	1.000	1.000	1.000	0.125
13	05.00	0.076	1.000	1.000	1.000	0.380
14	10.00	0.089	1.000	1.000	1.000	0.890
15	10.00	0.063	1.000	1.000	1.000	0.630
INDICADOR DE VULNERABILIDAD = 6.243						

Tabla 16

Banco de datos para estimar el indicador de vulnerabilidad, en el ejemplo que se estudia (una playa, en sus aspectos fisicos generales). 1 = siglas del descriptor. 2 = valor del descriptor. 3 = coeficiente de importancia. 4 = coeficiente espacial. 5 = coeficiente temporal. 6 = coeficiente de probabilidad de presentación. 7 = valor de la fila.

De la anterior tabla, el indicador de vulnerabilidad, de la playa que se estudia, tomaria un valor de 6.243. Este valor traduce que el sistema está expuesto a un riesgo potencial, pero natural de desestabilización de grado medio.

Un valor cero implicaria un riesgo mínimo, mientras que un valor de diez querría decir que el riesgo es máximo. Pero siempre se trata de riesgos potenciales. En realidad, los valores que toman estos indicadores hay que leerlos en términos de probabilidades.

CAPÍTULO 18

LAS OBRAS DE INGENIERÍA COSTERA, Y SUS RELACIONES CON LOS PROCESOS Y EFECTOS SEDIMENTARIOS.

ESQUEMA:

1. Introducción.
2. Clasificación de las obras marítimas.
3. Causas - efectos de impactos físicos en el litoral, por obras marítimas.
4. Secuencias significativas concatenadas de procesos naturales, actuaciones antrópicas y sus efectos inducidos.

1. INTRODUCCIÓN.

Las obras marítimas de defensa se pueden enmarcar desde varios enfoques. No sólo desde la perspectiva del diseño de playas artificiales, sino también:

- para proteger actuaciones del hombre, ya ejecutadas, o en fase de proyecto,
- o para toma de servicios.

En el caso de protección de actuaciones, sirven de ejemplos los muros, a lo largo de una orilla muy erosionable, que ubica, tierra adentro, a poca distancia, importantes obras de infra-estructuras (autopistas, vías férreas, tendidos eléctricos de alta tensión y otras).

Como toma de servicios, quizás los más representativos sean los espigones, relacionados con bocas de succión de agua, o de desagües, de diversas actividades antrópicas.

2. CLASIFICACIÓN DE LAS OBRAS MARÍTIMAS.

Enríquez y Berenguer (1986) admiten que la clasificación de las obras marítimas, de defensa de costas, se puede hacer según los siguientes criterios:

1. Conforme con los objetivos que se persiguen:

   - obras de protección de terrenos,
   - obras de estabilización de la línea costera, y
   - obras de estabilización de golas y canales.

2. De acuerdo con criterios estructurales:

   - defensas longitudinales,
   - obras transversales,
   - diques exentos,
   - alimentación artificial de áridos, y
   - otras ("cajón de sastre").

En el "cajón de sastre" se encontrarían:

- sembrado de algas artificiales,
- barreras neumáticas o hidráulicas,
- elementos flotantes, en general,
- contenciones ancladas,
- etc..

3. A partir de consideraciones medio-ambientales:

- soluciones duras, y
- soluciones blandas ("light" o "descafeinadas").

4. En relación con la modalidad funcional:

- estabilización de zonas arenosas frente a la acción del viento,
- defensa por aportación artificial de sedimentos,
- defensa por interferencias con la dinámica litoral, normalmente del oleaje incidente, y
- defensa por interposición tierra-agua.

Entre las obras por interposición tierra-agua, se encontrarían:

- muros,
- pantallas,
- revestimientos,
- y acúmulos de gravas.

De todas estas posibles clasificaciones, quizás la estructural sea la que mejor sirva de hilo conductor, en el estudio de impactos, por obras de defensa costera.

Los términos empleados en la clasificación estructural, con la exclusión de los que forman el "cajón de sastre", se pueden definir como sigue:

Defensas longitudinales

Consisten en obras marítimas de interposición entre la tierra y el agua, de manera tal que impiden la acción directa del oleaje sobre el terreno. Éste queda dotado de un frente resistente.

Un sucinto inventario de defensas longitudinales sería:

- muros,
- pantallas,
- revestimientos,
- y acúmulos de gravas.

Obras transversales

Son estructuras unidas ortogonalmente a la orilla. Las más significativas corresponden a los espigones y diques.

Los espigones, en sentido estricto, definen obras fijas que no determinan aguas abrigadas, mientras que los diques, sí.

Diques exentos

Corresponden a obras marítimas fijas y emergentes, paralelas a la orilla, mar adentro. Cuando se encuentran muy rebajados, sumergidos, se denominan sustentaciones, o mejor aún, contenciones.

Alimentaciones artificiales de áridos.

Consisten en aportaciones sedimentarias, sobre todo de gravas y/o arenas, a un determinado ambiente. Aquí se podría incluir el by-passing: transvase de arena, dentro de una misma playa.

3. CAUSAS-EFECTOS DE IMPACTOS FÍSICOS EN EL LITORAL, POR OBRAS MARÍTIMAS.

a). Procesos y efectos sedimentarios en playas, y análisis de impactos físicos, en relación con defensas longitudinales.

Las obras marítimas de defensa longitudinal, tienen por objetivos:

- Sustituir, en parte, la protección natural del entorno, allí donde ésta sea insuficiente.
- Y detener la acción erosiva del mar, por detrás de la obra.

Estos aspectos positivos pueden conllevar impactos físicos negativos. Tales impactos tienen lugar en los dos siguientes supuestos:

- que las obras estén en una zona sumergida,
- o en una zona emergida, pero donde llega ocasionalmente el oleaje.

Entre las obras longitudinales, las más usuales son los muros. Ante estas intervenciones, caben identificar, describir y evaluar los impactos físicos, en dependencia con:

- Las removilizaciones de sedimentos y transportes de los mismos.

- Las acreciones y/o erosiones a barlomar y sotamar de la obra.

- Las repercusiones sobre las corrientes de deriva. Aquí se incluyen las posibles creaciones de barreras energéticas transversales.

- La prolongación, aguas abajo, de los procesos y efectos sedimentarios, determinados por la actuación.

- Muy ligado a lo anterior, las repercusiones sedimentarias en otras playas, aguas abajo.

- Y hasta donde se dejan sentir los procesos y efectos de estas obras, a lo largo del litoral.

Unas consideraciones sucintas, a una parte de los impactos reseñados, se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Se describen removilizaciones de los sedimentos, al pie de la obra y traslado de éstos hacia mar adentro.

2. Y ante un oleaje de incidencia oblicua hay:

   - procesos de acreción, aguas arriba,
   - y erosión, seguida de la formación de una baja, aguas abajo.

Se produce la removilización de sedimento arenoso y/o su transporte, hacia mar adentro, cuando:

- la energía del oleaje reflejado se suma a la del incidente, hecho que siempre ocurre.

- y la "resonancia" resultante supera un determinado umbral energético, circunstancia que se da con mucha frecuencia.

Los procesos de acreción, a balomar, y de erosión a sotamar, se entienden a partir de la resultante vectorial de la energía incidente y reflejada. Habría acreción cuando la resultante es menor que la energía incidente. En caso contrario, aparecería erosión.

Dentro de las defensas longitudinales, están también los revestimientos. En relación con estas obras, convendría investigar:

- ¿Cómo influyen las intervenciones en las barras de arena, cuando una playa evoluciona entre estadios morfodinámicos?.

- ¿Qué repercusiones habrían de esperarse, en el sector más interno de una playa, cuando se influye en las barras?.

En principio, los revestimientos interfieren la formación de barras sumergidas de erosión, si la obra ocupa superficies arenosas significativas, que hagan frente a la dinámica del oleaje de temporales.

Tales barras, potencialmente, actúan a modo de filtro ante la energía de otros temporales del sub-ciclo erosivo. Por ello, los impedimentos al desarrollo de estas formas sedimentarias menores acarrearían la acentuación de la erosión, en los sectores más internos de los ambientes arenosos en cuestión.

b). Procesos y efectos sedimentarios en playas, y análisis de impactos físicos, en relación con obras transversales.

Estas obras marítimas tienen por objetivos, entre otros:

- Provocar la formación de una playa.
- Evitar, o retardar, la erosión en playas existentes (defensa y/o regeneración).
- Proteger las bocanas de los puertos, ante aterramientos.
- Canalizar zonas navegables.
- Soportar bocas de tomas de agua o de desagües.

Los efectos físicos colaterales de las actuaciones, acorde con los anteriores objetivos, se pueden analizar según que el litoral esté, o no, afectado por un transporte longitudinal neto significativo. La mayoría de estos efectos son alteraciones negativas, aunque también las hay de carácter positivo.

Impactos físicos ante un transporte neto de deriva.

Con un espigón transversal, con campos de espigones, o con obras marítimas portuarias, que se comportan a modo de macro-diques transversales, la investigación iría dirigida hacia éstas otras cuestiones:

- ¿Cómo se interfieren los transportes de deriva?.

- Un espigón aislado, o el primero, aguas arriba, de un campo de espigones, ¿en qué medida provoca rip currents, con transportes de áridos, hacia fondos inactivos? ¿Cómo influye el diseño morfológico, en planta, en el desarrollo de ésos rip currents?.

- Cuando se construyen campos de espigones, ¿cómo influye la parametrización de estas obras, para que se formen rip currents internos, con sus consiguientes implicaciones en las inestabilidades de los depósitos de arena?.

- ¿Qué procesos y efectos habrían de esperarse, a barlomar y sotamar de la estructura, o del conjunto de estructuras? ¿Bajo qué circunstancias?.

- En general, ¿cómo repercuten las obras en las playas de aguas abajo? ¿Hasta dónde?.

De acuerdo con una premisa de partida, que suponga la existencia de una plataforma litoral, idónea para permitir el desarrollo de un transporte de deriva, unas respuestas muy generales apuntarían, más o menos, hacia las siguientes pautas:

1. La intercepción del transporte de deriva, es la causa más general que determina la aparición de un conjunto de alteraciones en la dinámica sedimentaria.

2. Normalmente, se forma un depósito sedimentario de barlomar, delante:

   - de una obra transversal aislada,
   - o de la primera estructura de un campo de espigones.

3. Se produce un retroceso de la orilla arenosa, a sotamar, a partir del último espigón construido.

4. A medida que se estabiliza la orilla sometida a retroceso, avanza la erosión, aguas abajo, hasta donde finalice la playa, o su provincia morfodinámica.

5. Se canalizan corrientes de retorno (rip currents), frente a situaciones de oleaje oblicuo, a barlomar de un primer espigón transversal

6. Cuando el depósito sedimentario de barlomar rebasa la estructura, se produce un proceso deflactor de la corriente sólida, hacia aguas profundas, donde ya no se deja sentir la acción del oleaje. Sin embargo, una parte de los áridos contornea la obra y se incorpora a la dinámica sedimentaria de la orilla.

7. Con separaciones exiguas entre los elementos de un campo de espigones, se potencializa un sistema de corrientes de retorno. Esto originaría la separación del flujo sedimentario de la orilla, y su posible desvío hacia profundidades poco activas.

8. Por lo contrario, con un exceso de separación entre los elementos de un campo de espigones, aparecerían irregularidades en la configuración de la planta, en cada unidad de compartimento, en sus sectores de barlomar, que quedan más desprotegidos.

Impactos físicos por un transporte nulo de deriva

El transporte nulo se puede deber:

   - a una inexistencia de transportes longitudinales de áridos,
   - o a una compensación de transportes brutos, de direcciones opuestas.

En estas circunstancias, el investigador se preguntaría:

   - ¿Cuáles serían ahora las respuestas al anterior bloque de preguntas?.
   - ¿Qué pasa ante ocasionales situaciones de temporales?.
   - ¿Podrían quedar tramos de playas aislados sedimentariamente?.

El conjunto de impactos, antes reseñados, se atenúa. En general, la erosión, en una sotamar "remanente" pierde mucha intensidad y, con ello, su alteración negativa.

Los elementos de un campo de espigones, como no pueden retener los sedimentos de un "transporte resultante" ausente, sólo atrapa y da estabilidad a los aportes artificiales.

A pesar de todo, pueden aparecer impactos negativos. Éstos tienen dependencias:

1. Con los temporales aislados, que determinan derivas esporádicas importantes.

2. Y con la posibilidad de dejar aislados ciertos tramos de playas de sus fuentes sedimentarias, a causa de la modificación, en mayor o menor grado, de la propagación y características del oleaje incidente.

Todo lo anterior puede determinar deformaciones en un depósito sedimentario, en la planta y perfil de una playa, principalmente en las proximidades de las obras marítimas.

c). Procesos y efectos sedimentarios en playas, y análisis de impactos físicos, en relación con diques exentos y arrecifes artificiales emergentes.

Estas obras marítimas tienen por objetivos, entre otros:

- Obtener una atenuación de la energía del oleaje. Se pretende crear una zona de sombra energética tras ella. Con ello, se consigue disminuir la acción erosiva del mar. Así se evita, o retarda, la erosión de playas.

- Provocar la formación de una playa, ante un aporte sedimentario.

En cuanto a estas obras, las preguntas de la investigación se agrupan, básicamente, en cuatro bloques:

- ¿Cuándo los gradientes de sobre-elevación, del agua del mar sobre el estrán, son efectivos para el transporte de arenas? ¿Cuáles son las velocidades umbrales mínimas, en unas condiciones muy generales, sin considerar la muy activa participación de variables, tales como pendientes topográficas y valores granulométricos de los áridos, entre otros?. En esas condiciones muy generales, ¿cuáles son las alturas mínimas del oleaje?.

  En realidad, no se precisa de un determinado umbral de gradiente de sobre-elevación. Por pequeño que éste sea, siempre se desarrolla un transporte Q_s a causa de las turbulencias que crea el oleaje en el estrán. Las turbulencias ponen en movimiento a las arenas, y ésto hace que respondan, en mayor o menor medida, con un transporte, a las corrientes de sobre-elevación.

- La parametrización del diseño del dique exento ¿qué papel juega en la formación de hemitómbolos y tómbolos? ¿Cómo sería la evolución de a orilla, en estos depósitos, para que se lleguen a situaciones de equilibrio entre los transportes Q_a y Q_s?.

- ¿Cómo se interfieren los transportes de deriva? ¿A causa de qué? ¿Crean barreras energéticas transversales que determinen transporte de áridos hacia fondos inactivos?.

- ¿Qué repercusiones habrán en otras playas aguas abajo? ¿Hasta dónde?.

Los impactos físicos, más generales, que lleven implícitos estas obras, se esquematizan de la siguiente forma:

1. El transporte longitudinal queda obstaculizado, con todos sus efectos, en las playas de aguas abajo, de su provincia morfodinámica

   La obstaculización se debe a la deposición sedimentaria, en la zona de sombra energética, que crea el dique exento.

   Estos depósitos determinan:

   - hemitómbolos, o
   - tómbolos.

   Con los hemitómbolos, hay barreras parciales al transporte de deriva, cuando este logra superar la zona de "sombra", mientras que los tómbolos suponen impedimentos totales, si no hay transporte por delante de la estructura.

2. Con el desarrollo de un tómbolo, que abrace a la totalidad del dique exento, se podría esperar la canalización de corrientes de retorno, frente a situaciones de oleaje oblicuo. Con esto, se produce

también un posible efecto deflactor del transporte longitudinal, hacia aguas profundas, cuyos fondos son inactivos a la dinámica sedimentaria del oleaje.

3. En relación con la parametrización de los diques exentos, se infiere, entre otras muchas cosas, que puede ocurrir, por lo menos potencialmente, una erosión en los sectores laterales de la playa a optimizar, cuando se la alimenta artificialmente de forma deficitaria. La alimentación deficitaria supone que no se llega a alcanzar la relación de 0.35, entre el avance de la orilla y la longitud de la estructura. En ese supuesto, el sector central atrae aportes desde sus laterales, con el consecuente retroceso de la franja intermareal, en los márgenes de la playa.

   La erosión se situaría tanto aguas arriba como aguas abajo de la obra, con transportes de sobre-elevación, aunque se acentuarían con oleajes cambiantes, procedentes de cuadrantes diferentes. La inestabilidad sedimentaria se detendría cuando el hemitómbolo creciera hasta su umbral específico, donde la relación en cuestión tomará el valor adecuado.

d). Procesos y efectos sedimentarios en playas, y análisis de impactos físicos, en relación con alimentaciones artificiales.

La alimentación artificial de playas consiste, esencialmente, en la aportación, con la utilización de medios artificiales, de arena a una zona costera, que tiene un balance sedimentario negativo, o que la franja seca e intermareal de playa presenta unas dimensiones inferiores a las que se desean.

El objetivo primero de la alimentación artificial es la recuperación, o formación, de una playa, que reúna unas condiciones mínimas de estabilidad y duración. Con ello, se pretende conseguir un espacio lúdico, en la propia playa, o bien de que, como consecuencia de la disipación de la energía del oleaje, en el depósito sedimentario, se llegue a una protección efectiva de los terrenos costeros, situados directamente detrás.

Respecto a la alimentación artificial, la investigación se plantearía:

- ¿A qué se debe el déficit sedimentario de una playa, que gozaba de buena salud sedimentaria, y que ahora precisa de una alimentación artificial? ¿Se pueden corregir las causas, para evitar esa alimentación, y para que entre en funcionamiento una regeneración natural, con efectos apetecibles en un plazo de tiempo razonable?.

- ¿Qué ocurre si se pretende optimizar una playa, mediante una alimentación artificial, sin analizar las causas que han determinado la degeneración del depósito sedimentario?.

- ¿Cuál sería la cuantía de una alimentación artificial, para llegar a un depósito óptimo? ¿Con qué variables y estimaciones se tendría que jugar?.

- ¿Qué tasa media de pérdidas de arenas se espera que hayan? ¿Con qué periodicidad, y en qué cuantía, habría que hacer realimentaciones, para tener una playa con un depósito en condiciones óptimas? ¿En qué se basarían las predicciones?.

- ¿Qué características deben reunir las arenas para una alimentación artificial?.

- El conocimiento y la comprensión de los diagramas de transporte, en la playa, ¿se tendrá presente en la metodología de la alimentación artificial?.

- ¿Se espera que hayan repercusiones, con la alimentación artificial de una playa, en otras, aguas abajo?. Una intervención dada, ¿provocará impactos estéticos, y físicos en general, en otras playas, si llegaran los áridos de la alimentación a estas? ¿Se debería a que se pretenda emplear áridos de características contrastadas, respecto a los de la provincia morfodinámica, en que se encuentra la playa a optimizar?.

- Las fuentes de aportes, ¿están en la propia playa a regenerar? ¿O habría que recurrir a fondos sumergidos alóctonos? ¿Qué problemas presentarían, en el usuario, el empleo de

áridos de machaqueo, procedentes de una cantera? ¿Y en relación con la dinámica litoral?.

- ¿Cómo se afectarían los fondos a explotar? ¿Se destruirían praderas de vegetación, como las de posidóneas? ¿Se tiene presente la hidrodinámica, que genera el oleaje, entre la zona de rompientes y la orilla, y que explica basculaciones sedimentarias, entre el estrán y la playa sumergida?.

- La explotación de unos fondos, ¿tendrán repercusiones en los procesos y efectos físicos de sus playas próximas?. En el caso de darse esas repercusiones, ¿en qué medida se deben a destrucciones totales o parciales de praderas de vegetación? ¿Cómo participa la hidrodinámica, de las oscilaciones atrapadas? ¿Cuáles serían otras causas?.

- El diseño de la planta de una orilla, ¿cómo repercutiría en la estabilidad de la alimentación artificial? ¿Según qué metodologías se configuran las plantas en proyectos?.

Unas respuestas someras, a algunas de las anteriores cuestiones, se resumen como siguen:

La generación de una playa, y su estabilidad en el tiempo, dependen de la llegada hasta ella de sedimentos, en cantidades suficientes para compensar las pérdidas que pueden tener. Es preciso, por lo tanto, que exista una o varias fuentes de material, que tengan a la citada playa en su zona de influencia.

En los últimos tiempos, el tratamiento de los recursos, en el ámbito litoral, ha tenido un desarrollo tendente:

- a alterar y disminuir la llegada de los sedimentos continentales, a la zona costera, a causa de: regulación de cauces, repoblaciones forestales, protección de acantilados, extracciones en ríos y barrancos, etc.

- A coartar su redistribución a lo largo de la costa, por las construcciones de obras marítimas.

- Y a sustraer o inutilizar las reservas sedimentarias existentes, por la ocupación de campos de dunas y extracciones en playas, para usos diversos, entre otras acciones.

Tal actitud ha motivado que, en numerosas zonas, el balance sedimentario adquiera signo negativo, al no poderse compensar, de forma natural, las salidas o pérdidas de material sedimentario. Como consecuencia inmediata, han surgido procesos erosivos, de difícil corrección.

Desde esta perspectiva, la alimentación de arenas a la costa, por medios artificiales, constituye, por lo tanto, una actuación, que pretende suplir la deficiencia natural. Con estas intervenciones, se modifica el balance sedimentario, de forma instantánea, con el incremento de entrada de áridos.

La alimentación artificial de una playa, que se encuentra en erosión, puede retrasar, o dejar larvado, durante un cierto tiempo, el retroceso de la orilla, pero no modifica las causas que provoca dicha erosión. De persistir éstas, el relleno se verá sometido a un proceso de inestabilidad sedimentaria, por lo menos, al mismo ritmo de erosión que la playa original. La desaparición de los aportes de alimentación artificial será cuestión de tiempo. Si bien es cierto que las arenas pasarán, en gran parte, a suavizar la plataforma costera o a alimentar playas, aguas abajo, de su provincia morfodinámica. Por lo tanto, resulta imprescindible analizar, detenidamente, la estabilidad del relleno, en función de los ritmos de erosión, que en mucho depende de las acciones del oleaje. Así se evaluará la duración de la alimentación artificial, y los volúmenes de aportación periódica, que se precisen en el futuro, tras el relleno inicial.

El relleno inicial se habría estimado mediante otros criterios y metodologías, donde tiene especial relevancia el índice de sustentabilidad sedimentaria. Éste se calcula conforme con la definición de playa como un sistema tendente a un equilibrio, entre valores granulométricos, pendientes topográficas y energías de los oleajes incidentes.

En línea con lo anterior, otro aspecto cobra importancia, en la evaluación de los cambios físicos, que se pueden derivar de una actuación de regeneración, con aportación artificial. Se trata de la compatibilidad entre la arena existente en la zona y la de aportación. Al respecto, hay que tener en cuenta algunas de las hipótesis, que suelen aceptarse en las teorías sobre la estabilidad de los terrenos. Sin que se generalicen plenamente, existen más indicios y pruebas que las convalidan, que otros en sentido contrario. Estas hipótesis restringidas, se pueden enunciar como sigue:

1. La distribución granulométrica de la arena, que constituye originariamente la playa, se considera como la óptima y más estable, en su caso particular.

2. Una vez realizado el relleno artificial, todo el volumen de arena aportado es clasificado por el oleaje. En este proceso, el depósito tiende a adquirir una distribución de tamaños, similar a la existente inicialmente.

3. En el proceso de clasificación y asimilación, se produce la pérdida de un cierto volumen de la arena aportada.

De estas formulaciones, se deduce la importancia que reviste la selección de las características de la arena de aportación, a la hora de asegurar el éxito funcional y económico de la regeneración, y la conveniencia de no regatear esfuerzos para la búsqueda y explotación de las fuentes más idóneas.

Los aportes artificiales suelen depositarse:

- a profundidades entre 5 y 8 metros,
- o en la misma playa, a través de tuberías.

En el primer caso, se confía en la acción de la dinámica marina, para la incorporación de la arena, a la zona superior de la playa. En el segundo, una vez vertida la mezcla en la playa, el diagrama de corrientes del oleaje incidente, redistribuye los sedimentos. Se modifica, paulatinamente el perfil de la playa. El depósito cada vez se ajusta más a un perfil de equilibrio, compatible con un sistema de equilibrio entre valores granulométricos, energía del oleaje y pendiente topográfica.

4. SECUENCIAS SIGNIFICATIVAS CONCATENADAS DE PROCESOS NATURALES, ACTUACIONES ANTRÓPICAS Y SUS EFECTOS INDUCIDOS.

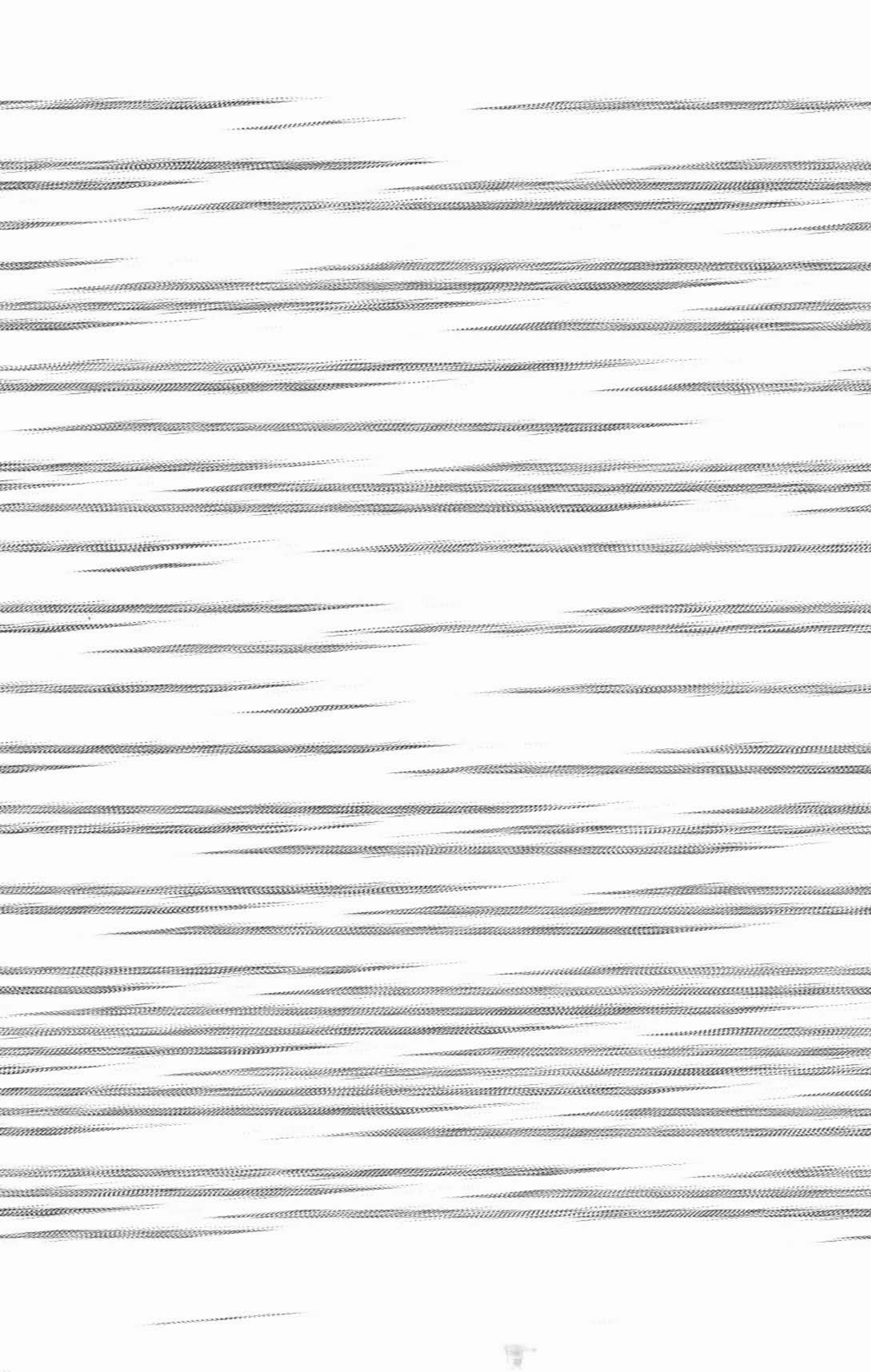
Estas secuencias se limitan a ciertos escenarios litorales particulares. Sea el ejemplo de un escenario donde se sucedan, desde aguas arriba:

- Acantilados erosionables y/o bajas, que actúan como fuentes de aportes sedimentarios.
- Un área de manglares, en una fase de conquista del mar.
- Y una playa arenosa.

Al establecer una secuencia desde "aguas arriba", se admite que incide un oleaje oblicuo, cuya componente "vectorial longitudinal" (paralela a la orilla), apunta hacia el sentido del orden indicado.

En una situación inicial del litoral, sin ningún tipo de actuación antrópica, llegarían a la playa aportes mitigados de arenas. Las causas de esta mitigación se encontrarían en la presencia de una densa trama de raíces zancudas del manglar rojo, y de una tupida red formada por los neumatóforos del manglar negro, así como en la existencia de posibles praderas de gramíneas marinas y de macro-algas, asociadas al manglar en su frente externo. Todo ello, bajo las circunstancias de conquista del medio marino, lo que requiere, progresivamente, de más sustrato físico.

Los componentes de vegetación reseñados, atraparían gran parte de los aportes de áridos procedentes de los acantilados y/o bajas. Esto equivaldría, respecto a la playa de aguas abajo, a una "evacuación o sumidero efectivo" de sedimentos. La zona de manglar se comportaría a modo de una singularidad másica negativa ("m").



CAPÍTULO 19

LAS INTERVENCIONES ANTRÓPICAS Y SUS ÁREAS DE INFLUENCIA.

ESQUEMA:

1. Conceptos generales.

2. Ejemplo de determinación de un área de influencia física.

1. CONCEPTOS GENERALES.

Conforme con la facilidad de transmisión de efectos, conviene distinguir, en un territorio, dos zonas:

- la del proyecto, y
- la de influencia.

Ambas se consideran en las evaluaciones de impactos ambientales de un proyecto, como coeficientes espaciales.

En el ámbito litoral, el módulo de tratamiento, para delimitar estas zonas, es la provincia morfodinámica, definida en su momento. En su interior, los efectos de una intervención física pueden, aunque no necesariamente, hacerse sentir en la evolución futura de toda la orilla.

2. EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE UN ÁREA DE INFLUENCIA FÍSICA.

En las delimitaciones y valoraciones de las áreas de influencia, se opta por una metodología de "aprender" con ejemplos concretos. Estos deben constituir modelos muy ilustrativos, en el marco de las evaluaciones de impactos ambientales. El interés de delimitar estas zonas tiene que quedar bastante patentizado.

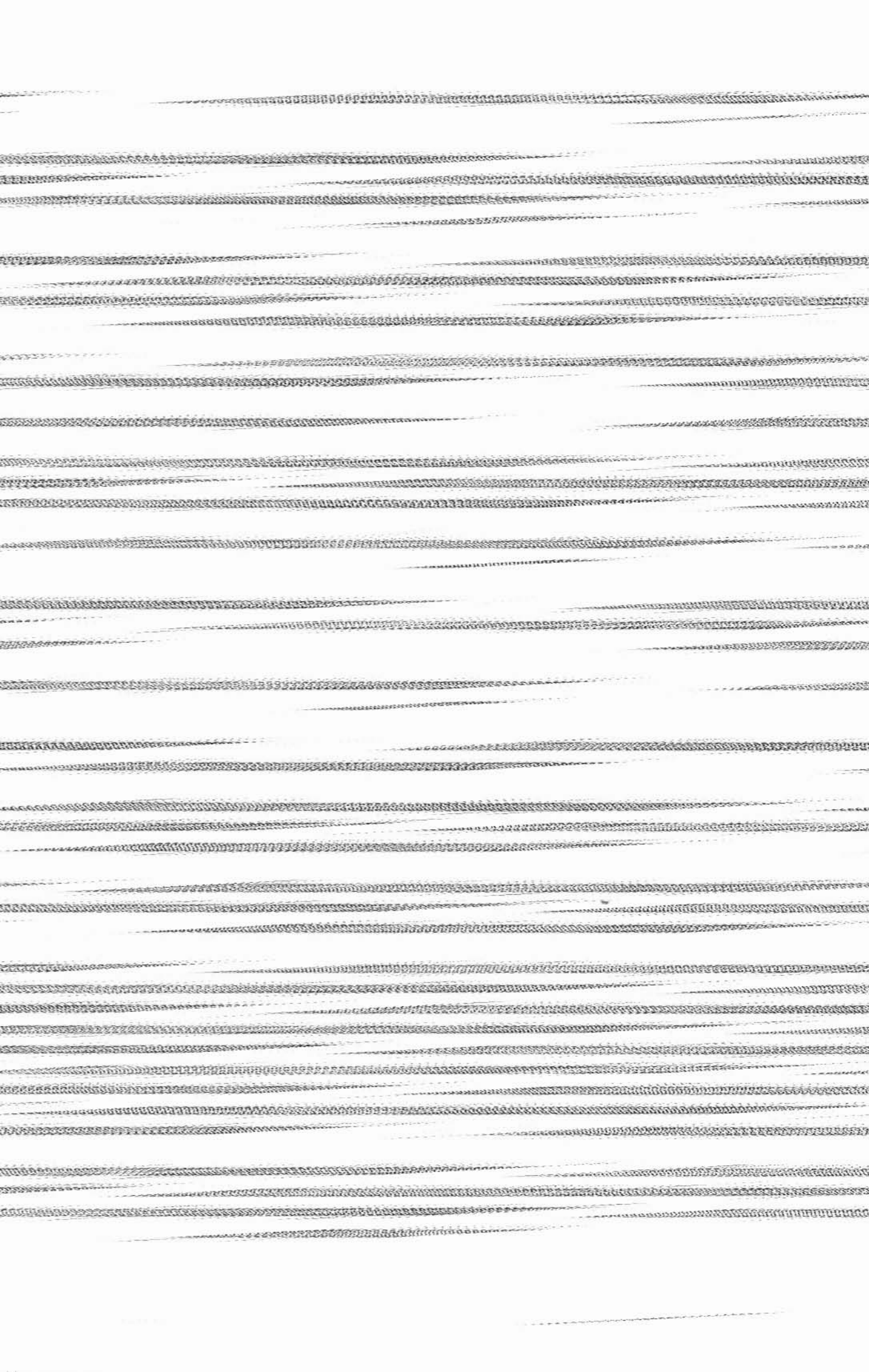
Dentro de la anterior "filosofía didáctica", sea el caso de la Península de Jandía, en la Isla canaria de Fuerteventura (España). En su orilla oriental, se describe la Provincia Morfodinámica de Costa Calma - Morro Jable, de unos 17 kilómetros, que comprende al conjunto de las Playas de Sotavento (un continuo depósito de arenas rubias, sin interrupciones). En el lado opuesto de la Península (orilla occidental), se encuentran las Playas de Barlovento. Entre ellas, en su zona más septentrional, están los Jables de la Pared, que mantienen continuidad cartográfica con los depósitos de playa, de los dos litorales.

Supóngase, por otra parte, que se pretenda, como en parte ha ocurrido, en la cabecera del Barranco del Pecenescal, la explotación de las arenas, a manera de cantera a cielo abierto. La explotación ocuparía un cuadrado de unos 800 metros de lado. El proyecto consideraba, en esa superficie, una excavación potencial de 90 metros.

Para delimitar el área de influencia, en sus aspectos físicos, de este proyecto, se debe identificar, analizar e interpretar la morfodinámica litoral del conjunto de la Península.

Los distintos ambientes sedimentarios se relacionan entre sí, según el siguiente esquema:

1. La plataforma insular, que hay frente a las Playas intermareales de Sotavento, presenta una pendiente entre un 3% y un 5%. Esta no es la más adecuada, en relación con las granulometrías de sus áridos, para el desarrollo de depósitos sedimentarios, capaces de sostener a las extensas playas arenosas, que



Se describen dos *modalidades de trasvases*:

- uno difuso, y
- otro potenciado.

El transporte difuso se identifica en la totalidad del corredor delimitado, en sus dos sectores. Esto lo verifica la presencia de un casi constante manto eólico de arenas, aunque la potencia es, a veces, despreciable.

El transporte potenciado se localiza en unos "*pasillos*" determinados, dentro del propio corredor. Estos pasillos coinciden:

- con las "*cañadas*": especie de valles transversales del Itsmo, labrados por barrancos, y
- con una depresión longitudinal interna, sub-paralela y próxima al litoral oriental.

De NE a SW, se suceden tres pasillos:

- Cañada del Río, que penetra en el glacis litoral.

- Cañada de la Barca, a 3.9 kilómetros desde la entrada a la Urbanización de Costa Calma. En el litoral SE, se encuentra entre la Montaña de los Verodes, al Norte, y la Montaña Pelada, al Sur. Tiene una cabecera común con la Cañada del Río. Ambas están separadas por lomas rebajadas (Hueso del Caballo y otras menores), según la dirección NW-SE. Entre las lomas, hay degolladas muy suaves. Luego, los transportes arenosos , a través de estas dos cañadas, tienen, como fuente de suministro, un mismo sector de las Playas de Barlovento.

- Y Cañada del Pecenescal, a 8.1 kilómetros desde la entrada a la Urbanización de Costa Calma.

En el litoral oriental, estas depresiones topográficas miden amplitudes entre los 200 y 300 metros.

La depresión longitudinal interna recorre unos 1400 metros, y desemboca en la Cañada del Pecenescal, a la altura de la carretera. Este pasillo recolecta y canaliza parte de los transportes difusos.

A lo largo de los pasillos transversales, el transporte eólico forma, inicialmente, extensos "*mantos de arenas*", y desde estos, "*lenguas propagantes*", hasta las Playas de Sotavento.

La cabecera de la Cañada del Pecenescal se localiza en la degollada definida por las lomas denominadas Atalayeja Grande y Atalayeja Chica. La orilla del litoral SE dista de esta cabecera casi tres kilómetros. El Barranco de Tras del Lomo representa su continuación, ya en la vertiente occidental del Itsmo, con un recorrido próximo a otros tres kilómetros.

A lo largo de toda esta depresión, de NW a SE, se observan:

1. Una alimentación rápida de arenas, desde la playa sumergida al manto eólico. El transporte remonta una relativa fuerte pendiente, con una parte cuasi intermareal. Este tránsito arenoso se debe a unos energéticos vientos dominantes del NE. De esta manera, se explica que estén ausentes los depósitos de arenas, en cantidades significativas, en el ambiente de playa intermareal - seca.

2. Un importante manto eólico de arenas, hasta la degollada, con dunas menores, muchas de ellas fijadas por la vegetación, en relación con una caida relativa generalizada de la capacidad de transporte del viento. Las catas miden potencias de hasta 90 metros.

3. Un rebose del manto eólico, hacia la vertiente oriental, sobre la referida degollada.

4. Lenguas propagantes de arenas.

5. Tramos bastante prolongados del cauce del Barranco, tipo "*rambla*", recubiertos completamente de arenas.

6. Y junto a la carretera, sobre todo aguas arriba, destaca una gran variedad de proto formas menores, en un abundante depósito de arenas. Se pueden inventariar:

    - pequeñas dunas trepadoras y de eco,

    - efectos pantalla, por el muro de barlovento de la carretera, en las dunas trepadoras,

    - anti-dunas (barjanes de brazos invertidos), de dimensiones reducidas, a sotavento de la vegetación,

    - dunas iniciales fijadas por los matos,

    - quillas de sotavento, socavadas o no, en relación también con la vegetación,

    - rizaduras (ripple - marks),

    - bandas de gravas (indican la dirección dominante del viento más energético), que cortan transversalmente a las crestas de las rizaduras,

    - areniscas (arenas cementadas), con estratificación cruzada, socavones y, en algunos casos, en quilla, respecto a los grandes matos,

    - y transporte transversal de arena sobre la carretera, que queda parcialmente invadida por pequeños depósitos.

La dinámica del transporte eólico de las arenas toma identidad en la Cañada del Pecenescal, con velocidades del viento entre 10 y 17 metros por segundo (entre 36 y 62 kilómetros por hora), según observaciones empíricas (24 - 4 - 1992).

En general, la presencia de campos eólicos, en el Istmo de la Pared, traduce la existencia de vientos dominantes, de velocidades relativamente fuertes.

Allí, donde se encuentran lo depósitos abundantes de arenas (en las cañadas):

- Presumiblemente, la velocidad del viento se incrementa de forma positiva, para poder transportar grandes volúmenes de áridos. La deposición se efectuaría en los periodos de caidas energéticas del viento.

- Y/o concurren unos condicionantes topográficos, más apropiados para la circulación y depósito de las arenas.

Una cartografía eólica detallada resulta imprescindible, para determinar el grado de participación de las posibles variables en esta dinámica de los jables.

En las divisorias de agua, que circundan, por el Sur, a la mancha de jable, se infiere también la presencia de vientos fuertes. A esto se llega mediante la interpretación de una serie de huellas:

- Ausencia de áridos finos (muy susceptibles de ser barridos).

- Depósitos de gravas y cantos angulosos, por deflación.

- Y estructuras de bandas, en cantos - gravas, que se disponen según la dirección del viento reinante más reciente, de fuerte energía. El 23 - 4 - 1992, en la Divisoria del Cuchillete, la dirección grabada correspondía a la del viento regional dominante (del NE).

En la orilla SE, se desarrollan algunas dunas mayores. tipo transversal. Las dos más importantes miden 270 y 360 metros de longitud. Las alturas se estiman alrededor de los 20 metros.

Estas dos dunas se disponen a modo de divisorias, entre desembocaduras de barrancos y cañadas. Desde el Mirador del Barranco de Salmo (a 10.7 kilómetros desde la entrada a la Urbanización de Costa Calma), se aprecian:

- Una primera duna, entre la Cañada del Pecenescal y el Barranco del Valluelo.

- Y una segunda, más al Sur, entre el Barranco del Valluelo y el de Salmo, por migración de la arena, desde la primera (*duna "sub-armónica*"

En principio, las anteriores dunas litorales se deben:

- a un viento encañonado. que transporta a abundantes arenas, a través de las cañadas,

- y a una difracción, hacia el Sur, junto a la orilla del mar, que es la que determina, en sentido estricto, la formación de las dunas.

Y traducen unas buenas disponibilidades de aportes de arenas.

Como las dunas transversales sólo se desarrollan en dependencia con la Cañada del Pecenescal, ésta representa el pasillo de trasvase más importante.

Desde esta estación de observación:

- Se verifica, fácilmente, la alimentación de las Playas de Sotavento, por los trasvases descritos. Las dunas indicadas son elementos puntuales de alimentación.

- Se identifica una singularidad geométrica negativa, en la Punta del Risco del Paso. Como respuesta a esta singularidad, se forman flechas. Una de ellas se describió el 24 - 4 - 92. Sus "lagunas" se abren al Sur. La identificación de flechas implican abundantes aportes sedimentarios, a lo largo de la playa. Este hecho es coherente con la proximidad de los pasillos de transporte del Istmo.

- Y se describe, al menos el 24 - 4 - 92, una barra paralela y próxima a la orilla, con su correspondiente "lagoon", inmediatamente al Sur de la singularidad del Risco del Paso, ya en su tramo rectificado del litoral. Podría corresponder a un estadio intermedio, cercano al reflectivo, dentro de la clasificación genética de las playas, de Wright y Short (1985).

Dentro del Archipiélago Canario (España), los procesos de trasvases de Jandía se asemejan, en cierta medida, a la dinámica sedimentaria de la Provincia de Morro Besudo - Faro de Maspalomas, en la Isla de Gran Canaria. En este último modelo físico, las arenas de la Playa de El Inglés pasan a la de Maspalomas, a través de otro campo de dunas. A pesar de ello, los dos modelos poseen sus propias peculiaridades, las que les confieren ciertos grados de rareza. Estas circunstancias son factores, entre otros muchos, que intervendrán en las estimaciones de las calidades naturales, y ambientales, de los territorios en cuestión.

Obviamente, toda instalación de obstáculos, en el corredor emergido de transporte de arenas, y de acuerdo con lo formulado, determinaría impactos físicos importantes:

- tanto directos, en la zona de intervención,
- como indirectos, a lo largo de las Playas de Sotavento (zona de influencia).

Esto ocurriría, por ejemplo, con la ocupación urbanística del litoral, entre Costa Calma y el Barranco de Salmo. Se crearía una barrera arquitectónica, que provocaría la inestabilidad global de las Playas de Sotavento.

En cuanto al proyecto de explotación de áridos, en la cabecera del Barranco del Pecenescal, si este se llevara a cabo, evidentemente habría una disminución de los aportes de arenas, a las Playas de Sotavento:

- no sólamente durante el tiempo que perdure la intervención,

- sino también "a posteriori", hasta que se rellenase el hueco creado en la superficie topográfica, una vez que haya culminado la actuación.

La perturbación sedimentaria sería significativa, ya que se interfieren los procesos de transportes de arenas, en el pasillo de trasvase más importante del Itsmo de la Pared de Jandía.

Además, un tramo importante de playa entraría en inestabilidad sedimentaria, o se incrementaría esa situación. Cada vez tendría menos arena. Este tramo corresponde a la Playa de Morro Jable, que se encuentra en:

- estabilidad, o
- inestabilidad sedimentaria,

pero no en hiper-estabilidad, de acuerdo con la inexistencia de una flecha, a partir de la singularidad geométrica negativa de su entorno.

Por otra parte, actualmente la deposición de arenas eólicas, en el Itsmo de la Pared, tiene una clara tendencia recesiva. Esta recesión se deduce si se contrastan las extensiones de las superficies de ocupación y los volúmenes de los depósitos de jables antiguos y recientes. Las causas estarían en cambios climáticos, que conllevan modificaciones en las variables oceanológicas. Estas variables regulan el equilibrio de los procesos y efectos sedimentarios, en el litoral.

En definitiva, con la cantera de arenas se pondría en peligro:

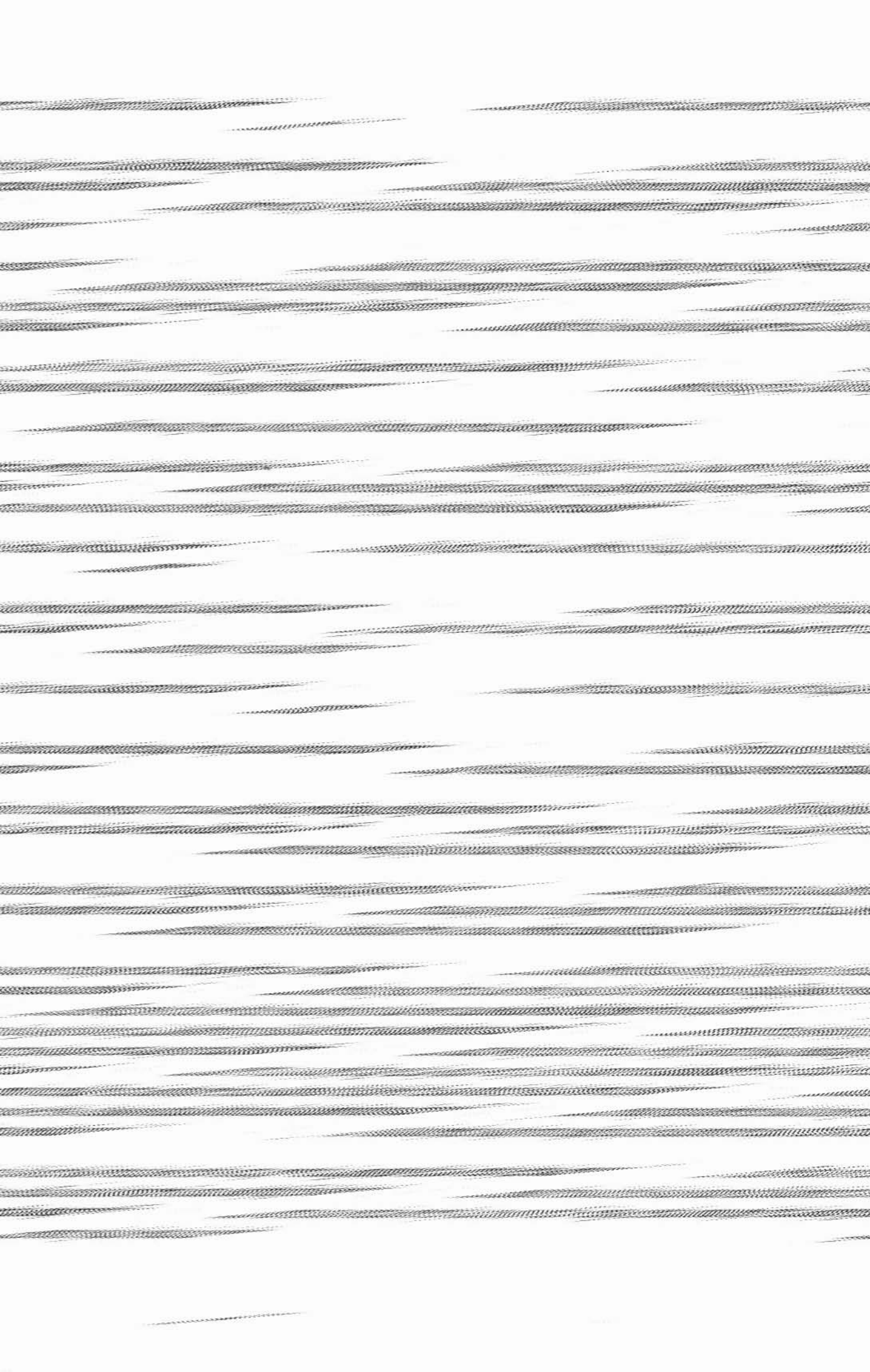
- los depósitos de playa, en un litoral muy accesible, de alta calidad paisajística,
- y la sustentación, la materia prima, de una importante industria turística.

Y todo esto determina, de por sí, un fuerte impacto negativo, en sus aspectos:

- socioeconómicos,
- paisajístico, y
- de conservación de un biotopo.

Los efectos socioeconómicos se infieren si se admite que las Playas de Sotavento representan la materia prima de la industria turística, decisiva en la economía insular.

Independientemente a otros tipos de consideraciones, entre ellos los ecológicos, una actuación, o gestión, obviamente equivocada sería la explotación irracional del suelo, que implique la destrucción de una de las industrias consolidadas, que proporciona las mayores riquezas de la Isla. A no ser que no importe el porvenir de un territorio, a medio o largo plazo.



- Uso del suelo: urbanístico residencial, deportivo, industrial, etc. Fila 26.
- Revalorización de la fachada costera, o del territorio en general. Fila 27.
- Aumento de recursos lúdicos o de explotación. Fila 28.
- Patrimonio: valor arqueológico, etnográfico, histórico, artístico, urbanístico, etc. Fila 29.
- Especulación político-económica y conflictos sociales. Fila 30.

Cada uno de estos factores y procesos inician una fila en la matriz.

En el diseño de las matrices operativas, de amplias posibilidades de aplicación, se admite la siguiente secuencia de acciones (causas):

1. Acciones socioeconómicas:

   - Expropiaciones. Columna 1.

   - Discurso político: presiones sociales, intereses, debates, etc. Columna 2.

2. Acciones sobre la Naturaleza, por la actuación puntual. Se incluye el área de influencia fisiográfica, o morfodinámica:

   - Operaciones previas de acondicionamiento del terreno. Se consideran, entre otras acciones, posibles talados en la zona de ocupación, movimientos de tierra, y desvíos y/o alteraciones de cauces de aguas superficiales. Columna 3.

   - Operaciones de infra-esructuras subterráneas y sub-aéreas: servicios, excepto redes viarias. Columna 4.

   - Construcción de redes viarias. Columna 5.

   - Creación de estructuras fijas, u otras obras de ingeniería civil. Se excluyen las edificaciones de viviendas, de almacenes o de dependencias administrativas. Columna 6.

   - Edificaciones anexas: viviendas, dependencias de servicios administrativos y almacenes. Columna 7.

   - Toma de servicios y de desagües de las edificaciones anexas. Columna 8.

   - Vertidos en general, por realización de obras, o por otras actividades. Se exceptúan los vertidos propios de las explotaciones y de los mantenimiento de las instalaciones. Columna 9.

   - Explotación de recursos mineros, con sus acciones intrínsecas. Columna 10.

   - Explotación de recursos energéticos blandos, como son los aéreogeneradores, con sus acciones intrínsecas. columna 11.

   - Explotaciones agrícolas, con sus acciones intrínsecas. Columna 12.

   - Actividades forestales, con sus acciones intrínsecas. Columna 13.

   - Instalaciones industriales, con sus acciones intrínsecas. Se incluye la acuicultura. Columna 14.

   - Cambios físico-químicos introducidos en el sistema. Se incluyen las modificaciones micro-climáticas, provocadas por el conjunto de acciones, que conlleva el proyecto o la actividad ya existente. Columna 15.

   - Pantallas artificiales de vegetación. Columna 16.

- Medidas correctoras y/o restauración paisajística. Columna 17.

- Operaciones de explotación y mantenimiento. Podrían incluir la producción de ruidos, la salida de gases a la atmósfera, la probabilidad de escape de especies exótica, y la efluencia, al medio terrestre y/o acuícola, de resuspensiones sedimentarias, de desechos de biocidas, de nutrientes y de productos químicos-bioquímicos. Columna 18.

Cada una de estas acciones encabezan una columna en la matriz.

En algunas matrices, convendría duplicar las acciones sobre la Naturaleza bajo dos actuaciones diferentes:

actuación puntual,

- y ordenación, planificación y manejo del territorio circundante, en dependencia con la anterior actuación.

Ello conllevaría a analizar y estimar los impactos, por separado:

- en la zona de ocupación del proyecto,
- y donde se realizarían los proyectos subsidiarios.

En el análisis de los impactos, dentro de las cuadrículas de interacción de una matriz específica, se pueden seguir criterios distintos. Quizás sea lo más aceptado optar por considerar los parámetros de:

- magnitud, e
- importancia.

La *magnitud* se representa en el triángulo izquierdo superior, en cada recuadro de intersección. Este parámetro:

- Mide el impacto, dentro de una escala relativa, de 0 a 10 (grado del impacto).
- Y puede ser positivo o negativo (beneficioso o perjudicial).

La medición del impacto corresponde al producto de la intensidad del mismo:

- Por la extensión de su área de influencia (totalidad de la superficie geográfica, donde se deja sentir una acción concreta, sobre un factor determinado). Se da en tantos por uno, en relación con la superficie de la unidad ambiental (coeficiente espacial).

- Por la probabilidad de presentación de la alteración. Define un coeficiente probabilístico, que tomará los valores entre 0 (probabilidad nula) y 1 (probabilidad de un 100 %).

- Y por un coeficiente temporal, que considere la duración del efecto introducido. Tendrá, asimismo, un valor entre 0 y 1.

Se entiende por intensidad del impacto el grado de daño, o de beneficio, que una acción tendrá sobre un factor ambiental. Se mide entre -10 y +10, de acuerdo con unos criterios de evaluación, válidos para cada casillero de interacción, es decir, para cada uno de los factores o procesos, frente a las distintas acciones recogidas en la matriz.

La *importancia* del posible impacto se indica en el triángulo derecho inferior. El parámetro:

- Define el marco de referencia de la alteración del factor, o proceso, desde una perspectiva de conjunto.

- Está referida a una unidad territorial en particular (ecosistema o sistema específico), y es válida sólo para ésta.

- Toma los valores de 1 a 10. El uno representa el valor mínimo, y el 10 el máximo. El cero no es válido, ya que supone una alteración en un factor o proceso que carece de interés, y, en esas circunstancias, no aparecería inventariado en una matriz operativa simplificada.

- Y tiene un mismo valor a lo largo de una misma fila.

De acuerdo con Berenguer (1988), una alternativa, entre otras, a estos parámetros, sería hacer las estimaciones de los impactos en términos de intensidades:

- escasas o nulas,
- apreciables, o
- intensas.

Esto último supondría:

- El empleo de una escala subjetiva, en tres grados.

- Y habría serias dificultades para una posterior manipulación de los resultados parciales, en un marco de globabilidad. Tales manipulaciones suelen tener bastante interés, en la discusión final de las evaluaciones de impactos ambientales.

La aplicación de estas matrices interesa en cuanto:

- Determinan índices de impactos globales.

- Establecen escalas de alteraciones, respecto a los factores y procesos ambientales considerados.

- Describen como producen las alteraciones las distintas acciones de los proyectos, que se evalúan, en los factores y procesos ambientales.

- Y, en definitiva, identifican a las intervenciones más correctas. Tales identificaciones deberán estar en coherencia con las estimaciones de los índices de uso.

Sin embargo, estas mediciones y sus interpretaciones serán de una primera aproximación, dada la simplificación del diseño.

Para todo lo anterior, a la matriz hay que añadirle tres filas y tres columnas adicionales.

La primera fila adicional lleva la sigla "a", y recoge las sumatorias parciales de las magnitudes e importancias, de cada una de las columnas. La primera columna adicional, que se le asigna también la sigla "a", recopila, asimismo, estas sumatorias parciales, pero ahora de cada una de las filas.

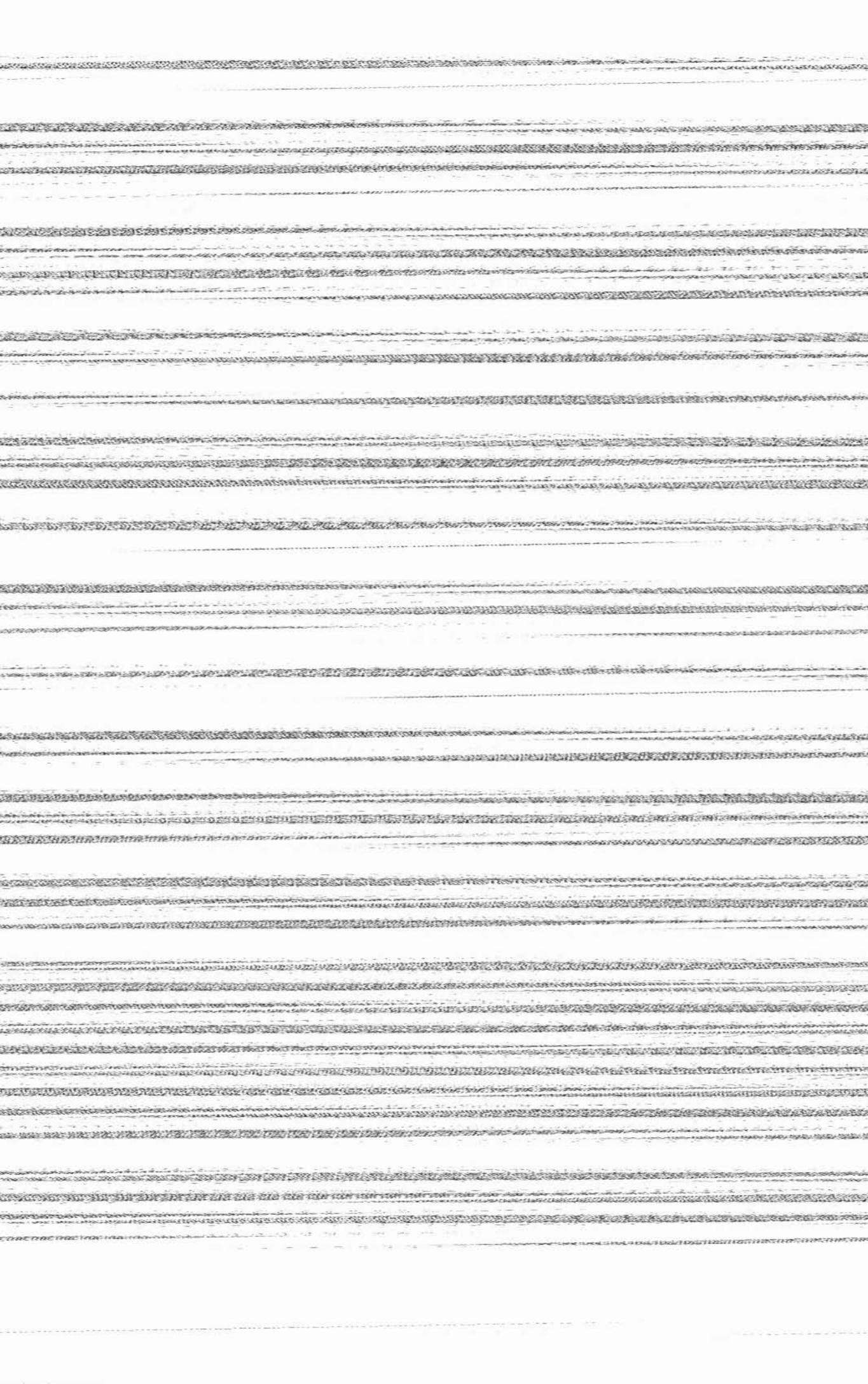
Se les asignan la sigla "b" a la segunda fila y a la segunda columna adicionales. En los casilleros, se encuentran factores específicos de corrección. Estos representan el tanto por uno de las sumatorias de las importancias de la primera fila o columna adicional, frente a la sumatoria del conjunto de sus valores.

La tercera fila o columna adicionales, con la sigla "c", encierran las magnitudes manipuladas del impacto. Éstas se obtienen como sigue:

- Se reajustan las sumatorias parciales de las magnitudes, respecto a la sumatoria de las importancias, tomada como 100, del conjunto de filas (columna adicional), o de columnas (fila adicional). O sea:

$$\sum M_p \rightarrow \sum I$$

$$x \rightarrow 100$$



4. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LAS MATRICES DISEÑADAS, EN EL CASO DE UNA INTERVENCIÓN DE INGENIERÍA COSTERA, EN UNA PLAYA ARENOSA.

Sea la playa arenosa descrita en el capítulo 17. Para este entorno, se diseña un proyecto de ingeniería costera, que, básicamente, consiste:

1. En la construcción de estructuras fijas: dos apoyos laterales semi-sumergidos, armonizados con el entorno, que penetran mar adentro. La separación de estos espigones es la adecuada, de acuerdo con las dimensiones de las penetraciones de los mismos. Se construye, además, una contención (sustentación).

   Los materiales necesarios, para la construcción de las estructuras, proceden de una cantera, a cielo abierto, de otro lugar, que no incide en la unidad ambiental que se interviene.

2. Y en una realimentación artificial de arena, desde su playa sumergida.

La restauración terrestre y la ornamentación paisajística se hacen con una flora autóctona.

La playa soportará una clásica urbanización turística estacional.

******* *******
****

Dentro de un estudio de impactos ambientales, las anteriores hipótesis del proyecto serán las que condicionarán los pesos de las evaluaciones, en una matriz causas - efectos.

En la tabla 18, que se acopla a la plantilla de la matriz simplificada descrita, se muestran las medidas estimadas y los cálculos de los impactos, de acuerdo con la opinión de un equipo multidisciplinar de profesionales, desarrollada durante un Curso de Postgrado (julio de 1992), en el Instituto Oceanográfico de Venezuela (Universidad de Oriente).

De esta plantilla, se obtienen las siguientes deducciones:

1. El balance de las alteraciones, en los factores y procesos abióticos y bio-ambientales resulta negativo. Este balance toma un valor de - 0.667.

   En cambio, el cómputo de las evaluaciones de las alteraciones, en los factores y procesos socioeconómicos, alcanza un valor alto positivo: +1.114.

2. Las acciones físicas, que producen perturbaciones positivas, o una mejora del entorno, con valores significativos, son:

   - en primer lugar, la creación de estructuras fijas,
   - en segundo, las operaciones de mantenimiento,
   - y, por último, las medidas correctoras y/o restauración paisajística.

3. Las acciones perjudiciales, obviamente con valores negativos, de mayor a menor importancia, forman la secuencia:

- operaciones previas de acondicionamiento del terreno,
- operaciones de infra-estructuras, y
- vertidos, en general, por la realización de las obras.

4. En lo concerniente a como se alteran los factores y procesos, positivamente:

   - El más beneficiado es la revalorización de la fachada costera.

   - Le sigue, a muy corta distancia, las repercusiones en el empleo de la mano de obra y de servicios.

   - Y en tercer lugar, con valores muy próximos a los anteriores, está el aumento de recursos lúdicos y de explotación.

5. Y en cuanto a los efectos negativos, asimismo en los factores y procesos ambientales, se llegan a estas otras inferencias:

   - La perturbación mayor se da en el ecosistema inicial, en su conjunto, con sus secuelas en el equilibrio ecológico.

   - En segunda posición, se encuentra la destrucción parcial de este ecosistema.

   - En tercer lugar, se perjudica a la fauna terrestre, como consecuencia de la intervención.

   - Y en una cuarta posición, quienes padecen las consecuencias del proyecto son las aves.

   Los valores negativos de estos cuatro cálculos tienen el mismo orden de magnitud. Los correspondientes a los restantes factores y procesos se encuentran a bastante distancia de éstos.

6. La interpretación de cada una de estas evaluaciones, de los impactos ambientales, hay que hacerla:

   - Desde una perspectiva de conjunto.

   - Conforme con lo que significa, y el peso que tiene, el factor o el proceso alterado en la calidad ambiental.

   - Y a partir de la condición de parámetro de idoneidad o permisividad, que pueda adquirir el factor o proceso que se considere.

7. El indice de impacto global toma un valor positivo de 0.447. Pero este valor aquí carece de significado, en un sentido muy estricto, ya que no se contrasta con otros valores de alternativas diferentes del proyecto, o de proyectos alternativos. De todas maneras, y en una primera lectura, traduce que la resultante del impacto es ligeramente beneficiosa. El balance negativo, respecto a los factores y procesos abióticos y bio-ambientales, se compensa con las repercusiones positivas en los aspectos socioeconómicos. No hay que llegar a situaciones límites de olvidar que el hombre forma parte del entorno natural, transformado en medio ambiente, sin que quiera decir esto que está capacitado, éticamente, para hipotecar la Naturaleza, en referencia a futuras generaciones.

	1	2	3	4	6	9	17	18	a	b	c
1	/	/	/	/	+10/10	-02/10	/	+05/10	+13/30	0.0644	+0.180
2	/	/	-02/03	-01/03	/	/	+01/03	/	-02/09	0.0193	-0.008
3	/	/	/	/	+08/03	/	/	/	+08/03	0.0064	+0.011
4	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
5	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
6	/	/	/	/	-02/02	-02/02	/	/	-04/04	0.0086	-0.007
7	/	/	-02/03	-01/03	-02/03	-02/03	/	/	-07/12	0.0258	-0.039
8	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
9	/	/	/	/	+10/10	/	/	+05/10	+15/20	0.0429	+0.138
10	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
11	/	/	/	/	-03/10	/	/	/	-03/10	0.0215	-0.014
12	/	/	/	/	-10/03	/	/	/	-10/03	0.0064	-0.014
13	/	/	-03/08	-03/08	-06/08	-03/08	/	-01/08	-16/40	0.0858	-0.295
14	/	/	-01/10	-01/10	-02/10	-01/10	/	-05/10	-10/50	0.1073	-0.230
15	/	/	/	/	/	/	+02/01	+01/01	+03/02	0.0042	+0.003
16	/	/	-01/06	-01/06	/	/	+02/06	/	+00/18	0.0386	+0.000
17	/	/	/	/	-01/01	/	-01/01	-01/01	-03/03	0.0064	-0.004
18	/	/	/	/	-01/01	/	-01/01	-01/01	-03/03	0.0064	-0.004
19	/	/	-04/08	-04/08	-01/08	/	/	-01/08	-10/32	0.0687	-0.147
20	/	/	-03/08	-03/08	-06/08	-03/08	/	/	-15/32	0.0687	-0.221
21	/	/	/	/	-01/02	/	-01/02	-01/02	-03/06	0.0129	-0.008
22	/	/	/	/	-01/02	/	-01/02	-01/02	- 03/06	0.0129	-0.008
23	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
24	/	/	+06/07	+06/07	+06/07	/	+01/07	+01/07	+20/35	0.0751	+0.322
25	/	/	-04/10	-04/10	+04/10	-01/10	+06/10	+05/10	+06/60	0.1288	+0.166
26	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
27	/	/	+01/08	+01/08	+04/08	-01/08	+06/08	+04/08	+15/48	0.1030	+0.331
28	/	/	-03/08	-03/08	+10/08	/	+05/08	+07/08	+16/40	0.0858	+0.295
29	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
30	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
a	/	/	-16/79	-14/79	16/114	-15/59	+19/49	+17/86			
b			0.1695	0.1695	0.2446	0.1266	0.1052	0.1846			
c			-0.582	-0.509	+0.840	-0.407	+0.429	+0.673			

ΣI_i de la columna adicional "b" = 466
ΣI_i de la fila adicional "b" = 466
I_o=+ 0.447
Observaciones:

Tabla 18

Ejemplo de estimaciones y de cálculos, en una matriz simplificada operativa de causas - efectos.

CAPÍTULO 21

LA SUSTENTABILIDAD FÍSICA DE LAS PLAYAS ARENOSAS, POR INTERVENCIONES ANTRÓPICAS.

ESQUEMA:

1. Introducción.
2. Descriptores de sustentabilidad: Conceptos, clasificaciones y evaluaciones.
3. Lista base de descriptores de sustentabilidad física, de algunos entornos litorales.
4. Indicadores de sustentabilidad: Conceptos y clasificaciones.
5. Metodología de cálculo de indicadores de sustentabilidad.
6. Ejemplo de estimación de un indicador de sustentabilidad física.

1. INTRODUCCIÓN.

Se entiende por sustentabilidad la obtención del mayor "capital" de un recurso por el hombre, siempre que el sistema, donde tiene lugar la intervención, no quede hipotecado para generaciones futuras. Esto supone la preservación de la potencialidad de la biodiversidad y de la calidad del "recipiente" geológico.

De la anterior definición conceptual, se deduce, de una forma directísima, que la sustentabilidad está muy vinculada a los impactos ambientales, que ha provocado y provoca el hombre.

2. DESCRIPTORES DE SUSTENTABILIDAD: CONCEPTOS, CLASIFICACIONES Y EVALUACIONES.

Los descriptores de sustentabilidad corresponden a las respuestas, valoradas semi o cuantitativamente, de forma numérica, de las perturbaciones (impactos positivos o negativos) en los procesos y efectos, y/o en sus causas, que rigen la formación y el equilibrio de los sistemas ambientales, ante determinados proyectos de desarrollo, o usos ya existentes.

Como ejemplo de descriptor de sustentabilidad, se puede indicar la rotura del perfil de equilibrio, por profundización (extracción de áridos), de un fondo de arenas sueltas, que actúe a modo de contención de una playa, más o menos disipativa, que forme parte de un sistema sedimentario, donde se encuentre una formación dunar solidaria.

Estos descriptores deben tener enunciados amplios, pero de forma tal que permitan:

- recoger, con precisión, las especificidades de un sistema en estudio,
- y valorar los desequilibrios que se desencadenarían, si se modificaran las causas, procesos y efectos que regulan al sistema en cuestión

Los descriptores se pueden clasificar de acuerdo con diferentes criterios o niveles de síntesis:

- en primarios y secundarios.
- de idoneidad y de permisibilidad.
- generales y específicos.

Un mismo descriptor puede pertenecer a varios de estos niveles de síntesis.

Los descriptores primarios corresponden a las alteraciones directas, por las acciones del proyecto o uso. En cambio, los secundarios, o de entrecruzamientos, representan a las alteraciones que provocan unos descriptores primarios alterados. Ésto es, no dependen directamente de las acciones antrópicas.

Los descriptores de idoneidad traducen el grado de "bondad" de las acciones del proyecto o uso. Descriptores de este tipo no hacen rechazable la intervención antrópica, aún en el caso de que alcancen las valoraciones más bajas posibles. De darse estas circunstancias de escasa o nula idoneidad, no implicarían una puesta en peligro de la sustentabilidad del territorio.

Los descriptores de permisibilidad son muy radicales. Describen si las repercusiones de las intervenciones antrópicas son admisibles o no, en el sentido de que impliquen impactos no excluyentes o excluyentes, en relación con la sustentabilidad de la unidad ambiental, ante un determinado proyecto o uso.

Los descriptores generales son aquellos que se podrían identificar en un número significativo de unidades ambientales, y sólo con ligeras matizaciones diferenciales, frente a una variedad considerable de proyectos o usos del territorio. En tanto que los específicos son los propios de una unidad territorial en concreto, respecto a un determinado proyecto o uso del territorio.

Cada descriptor de sustentabilidad se valorará numéricamente, mediante criterios muy concisos, expresados claramente, en relación con:

- el proyecto, o uso, que se trate,
- y el sistema específico, a intervenir.

En la evaluación de descriptores de sustentabilidad, se debe tener presente que el impacto negativo, en el caso de que se dé este signo, no es la alteración en sí, sino el grado de degradación que supone. Esto está de acuerdo con la expresión de que "el veneno no es la sustancia, sino la dosis" (Paracelso, in Lovelock, 1992).

3. LISTA BASE DE DESCRIPTORES DE SUSTENTABILIDAD FÍSICA, DE ALGUNOS ENTORNOS LITORALES.

Bajo este epígrafe, a modo de ejemplos, sólo se estudia la sustentabilidad física en dos entornos litorales:

- en playas arenosas, y
- en plataformas litorales de arenas

Descriptores de sustentabilidad de playas arenosas.

La guía procedimental, para el estudio de los impactos físicos en una playa, en lo referente:

- tanto a los procesos,
- como a los efectos sedimentarios,

se diseña de acuerdo con baterías de preguntas, conforme con las acciones de proyectos de desarrollo, o de usos ya existentes.

Los impactos se miden e interpretan según metodologías específicas.

Las identificaciones, con sus evaluaciones, de esos impactos, constituyen descriptores para estudiar la sustentabilidades de los proyectos, en la playa a intervenir.

En principio, para los ambientes de playa, se podrían formular las preguntas "guiadas", que deben permitir el diseño de los descriptores más significativos de sustentabilidad, en relación con las obras marítimas. Los bloques de preguntas se hacen en función de la clasificación estructural de las obras de defensa de las costas. Unas tentativas de estos bloques de preguntas serían:

a). Interrogaciones para el diseño de descriptores de sustentabilidad, en relación con los muros.

1. ¿Habrían removilizaciones de sedimentos y transportes de los mismos?.

2. ¿Tendrían lugar acreciones y/o erosiones a barlomar y sotamar de la obra?.

3. ¿Cómo serían las repercusiones sobre las corrientes de deriva?. Aquí se incluyen las posibles creaciones de barreras energéticas transversales.

4. ¿Se propagarían, aguas abajo, los procesos y efectos sedimentarios, determinados por la actuación?.

5. ¿Hasta dónde llegaría la propagación de los anteriores procesos y efectos?.

6. ¿Afectarían a otras playas, de aguas abajo?.

b). Interrogaciones para el diseño de descriptores de sustentabilidad, en relación con los revestimientos.

A los descriptores del epígrafe anterior, habrían que añadirles estos otros:

1. ¿Como influye la intervención en las barras de arena, cuando una playa evoluciona entre estadios morfodinámicos, más o menos disipativos y reflectivos?.

2. ¿Qué repercusiones habrían de esperarse en el sector más interno de un depósito de arenas, cuando se influye en las barras de una playa, que evoluciona de disipativa a reflectiva, y viceversa?.

c). Interrogaciones para el diseño de descriptores de sustentabilidad, en relación con obras transversales, en un litoral con transporte neto de deriva.

1. ¿Cómo se interfieren los transporte de deriva?.

2. Una obra transversal aislada, o la primera, aguas arriba, de un campo de estructuras transversales, ¿en qué medida provoca rip currents, con transportes de áridos, hacia fondos inactivos?.

3. ¿Cómo influye el diseño morfológico, en planta, en el desarrollo de esos rip currents?.

4. Cuando se construyen campos de obras transversales, ¿cómo influye la parametrización de estas obras, para que se formen rip currents internos, con sus consiguientes implicaciones en las inestabilidades de los depósitos de arena?.

5. ¿Qué procesos y efectos habrían de esperarse, a barlomar y a sotamar de las estructuras, o del conjunto de estructuras? ¿Bajo qué circunstancias?.

6. Y, en general, ¿cómo repercuten las obras en las playas de aguas abajo? ¿Hasta dónde?.

d). Interrogaciones para el diseño de descriptores de sustentabilidad, en relación con obras transversales, en un litoral con transporte nulo de deriva.

1. ¿Cuáles serían ahora las respuestas a la anterior batería de preguntas?.

2. ¿Qué pasa frente a ocasionales situaciones de temporales?.

3. ¿Podrían quedar tramos de playas aislados sedimentariamente?.

e). Interrogaciones para el diseño de descriptores de sustentabilidad, en relación con los diques exentos y arrecifes artificiales emergentes.

1. ¿Habría algún umbral de gradiente de sobre-elevación, del agua del mar sobre el estrán, para que se produzca un transporte de arena, a lo largo de la playa?.

2. En el supuesto de una respuesta afirmativa, en la pregunta anterior, ¿cuáles serían las velocidades umbrales mínimas, en unas condiciones muy generales, sin considerar la muy activa participación de las variables topográficas y valores granulométricos de los áridos, entre otros?.

3. En el caso de darse esas velocidades umbrales mínimas, ¿cuáles son las alturas mínimas del oleaje?.

4. La parametrización del diseño del dique exento, ¿qué papel juega en la formación de hemitómbolos y tómbolos?.

5. ¿Cómo se interfieren los transportes de deriva? ¿A causa de qué? ¿Crean barreras energéticas transversales, que determinen transportes de áridos hacia fondos inactivos?.

6. ¿Qué repercusiones habrán en otras playas de aguas abajo?.

7. ¿Cómo repercute en la plantas de la playa la ecuación de equilibrio, que relaciona los transportes Q_α y Q_s ?.

f). Interrogaciones para el diseño de descriptores de sustentabilidad, en relación con la alimentación artificial de playas.

1. ¿Se debe a una intervención antrópica el déficit sedimentario de una playa, que gozaba de buena salud sedimentaria, y que ahora precisa de una alimentación artificial?.

2. Si se corrigen esas causas, para evitar la alimentación artificial, y para que entre en funcionamiento una regeneración natural, con efectos apetecibles en un plazo de tiempo razonable, ¿qué otras posibles repercusiones habrían en el conjunto del litoral?.

3. ¿Qué ocurriría si se pretendiera optimizar una playa, mediante una alimentación artificial, sin analizar las causas que han determinado la degeneración del depósito sedimentario?.

4. ¿Cuál sería la cuantía de una alimentación artificial, para llegar a un depósito óptimo? ¿Con qué variables y estimaciones se tendría que jugar?.

5. ¿Qué tasa media de pérdidas de arenas se espera que haya? ¿Con qué periodicidad, y con qué cuantía, habría que hacer realimentaciones, para tener una playa con un depósito en condiciones óptimas? ¿En qué se basarían las predicciones?.

6. ¿Qué características deben reunir las arenas para una alimentación artificial, que no produzcan impactos en el ámbito de regeneración?.

7. El conocimiento y la comprensión de los diagramas de transporte, en la playa, ¿se tendrán presentes en las metodologías de la alimentación artificial, para minimizar los impactos negativos?.

8. ¿Se esperarían repercusiones, con la alimentación artificial de una playa, en otras, de aguas abajo?. Una intervención dada, ¿provocaría impactos estéticos, y físicos en general, en otras playas, si les llegaran lo áridos de la alimentación? ¿Se debería a un empleo de áridos de características contrastadas, respecto a los de la provincia morfodinámica, en que se encuentra la playa a optimizar?.

9. La alimentación artificial, ¿provocaría el aterramiento de praderas de algas o de graminias marinas, instaladas en la playa sumergida del territorio a intervenir? ¿O sólo se enturbiaría el medio físico de estas praderas?. La turbidez, ¿provocaría la regresión de una pradera de algas o de graminias?. Con la destrucción de praderas, ¿se atentaría a la defensa física de las playas?.

10. ¿Qué problemas presentarían, para el usuario, el empleo de áridos de machaqueo, procedentes de una cantera? ¿Y en relación con la dinámica litoral?.

11. El diseño de la planta de una orilla, ¿cómo repercutiría en la estabilidad de la alimentación artificial? ¿Según que metodologías se configuran las plantas en proyectos?. Esas configuraciones, ¿podrían producir impactos?.

12. Las fuentes de aportes, ¿estarían en la propia playa a regenerar? ¿O habría que recurrir a fondos sumergidos de otras playas?. En cualquier caso, ¿qué repercusiones físicas colaterales podrían darse?.

Descriptores de sustentabilidad de plataformas litorales de arenas.

En relación con la extracción de áridos, desde bancos sumergidos, para las alimentaciones artificiales de playas, los descriptores, que se precisarían, se podrían obtener a partir de esta otra serie de interrogantes:

1. ¿Cómo se afectarían los fondos a explotar? ¿Habría de esperar que evolucionara el perfil de equilibrio, conforme con la "Regla Bruun"? ¿Actuarían las corrientes litorales y/o las oscilaciones infragravitatorias como mecanismos en el reajuste del perfil de equilibrio?.

2. ¿Se identificaría un efecto de "excavación remontante", a causa del reajuste del perfil de equilibrio? ¿Cabría prever otros efectos?.

3. Cualquiera de los efectos de reajuste del perfil de equilibrio, ¿llegaría hasta la orilla de una playa? ¿Cuáles serían las repercusiones en este sector de playa? ¿Podrían provocar una inestabilidad sedimentaria, o que se acentúe esta, si es que ya se daba?.

4. ¿Se alterarían los procesos de erosión y de transporte de áridos, lo que a su vez repercutiría en los efectos de deposición sedimentaria, en el conjunto del área de influencia de la intervención de extracción?.

5. ¿Se destruirían las contenciones, o sustentaciones, de los depósitos playeros de áridos? ¿Se daría el caso particular de la destrucción de barras sumergidas, que actúen como contenciones de los depósitos sedimentarios, y/o como mitigantes de la energía del oleaje?.

6. ¿Se verían afectadas la destrucción total o parcial de praderas de vegetación, como las de posidóneas (Posidonea oceánica) ? ¿Qué repercusiones, y en qué medida, tendrían en la dinámica sedimentaria de las playas, la destrucción de praderas de vegetación?.

7. En el marco de que las playas "donantes" sean sistemas sedimentarios abiertos o cerrados, y de que las zonas a explotar se encuentren en ámbitos disipativos, o no, ¿habrían, o no, desequilibrios sedimentarios, cuyas repercusiones alcanzaran a las zonas más internas de las playas? ¿Se explicarían basculaciones sedimentarias entre el estrán y la playa sumergida, que tengan características de impactos físicos provocados?.

8. La explotación de unos fondos, ¿tendrán repercusiones en los procesos y efectos físicos de otras playas próximas?.

4. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD: CONCEPTOS Y CLASIFICACIONES.

Un indicador de sustentabilidad corresponde al valor que da una expresión analítica, que combina, mediante las opciones operacionales apropiadas, las mediciones numéricas de los descriptores de sustentabilidad, con sus respectivos coeficientes.

Un indicador de sustentabilidad traduce, globalmente, el "riesgo" de perderse el equilibrio en un sistema, o de hacerse más desequilibrado, con hipotecas de sus recursos, por las intervenciones antrópicas. Los descriptores, de este indicador, sólo muestran "riesgos" parciales de hipotecas, pero que pueden provocar repercusiones generales, por concatenaciones cruzadas, entre las alteraciones provocadas por el hombre, en las variables, los condicionantes, las dependencias y las causas que definen y hacen evolucionar al sistema, hacia un equilibrio.

Un indicador de sustentabilidad, en general, y sus descriptores, en particular, permiten valorar las acciones de un proyecto concreto de desarrollo, en un sistema determinado. Un análisis de esta valoración debe conducir a la calificación del proyecto como sustentable o no. Si se diera el último de estos supuestos, un análisis del indicador precisaría qué acciones, y en qué medida, se tendrían que modificar, para alcanzar la sustentabilidad (un desarrollo sostenido).

Un sub-indicador estaría configurado por ecuaciones parciales, que intervendrán en otras más complejas o completas.

En principio, los indicadores de sustentabilidad serán generales o específicos, según partan, respectivamente, de unos descriptores válidos, que se puedan aplicar a situaciones:

- genéricas, o
- particulares.

En ambos casos, se opera de la misma manera.

5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE INDICADORES

En la estimación de indicadores de sustentabilidad, previamente se han de seguir los siguientes pasos:

1. Se seleccionan, o diseñan, los descriptores a considerar.

2. Se analizan cada uno de los descriptores, para clasificarlos como de idoneidad o de permisibilidad, respecto al proyecto o uso en cuestión, en un territorio dado.

3. Se evalúan numéricamente cada uno de los descriptores clasificados, de acuerdo con unos criterios claros, que tiendan, en la medida de lo posible, a la objetividad, establecidos por un equipo multidisciplinar.

4. Se atribuyen a los descriptores sus correspondientes coeficientes de importancia, espaciales, temporales y de probabilidad de presentación, en tantos por uno.

Para el cálculo de un indicador específico de sustentabilidad, se puede aplicar unas expresión donde:

a). Los descriptores de idoneidad, con sus coeficientes, aparezcan como sumandos. Los valores de estos estarán dentro de una escala arbitraria, por ejemplo, entre -10 y +10.

En el caso hipotético de una calificación positiva máxima, en todos los descriptores, los coeficientes de importancia relativa harán que no se rebase la escala establecida

b). Y donde los descriptores de permisibilidad se encuentren como multiplicadores de toda la expresión matemática. Los valores de estos descriptores serán:

- "+1", cuando describan una garantía de sustentabilidad, tras la realización del proyecto, y

- "-1", si el proyecto llevara a un hipotecamiento.

Según las premisas anteriores, la expresión matemática se configura como sigue:

$$I_s = \left[\sum_{i=1}^{n} k_i e_i t_i p_i N_i \right] M$$

donde:

I_s = indicador de sustentabilidad.

k_i = coeficiente de importancia parcial, en tantos por uno.

e_i = coeficiente espacial, en tantos por uno.

t_i = coeficiente temporal, en tantos por uno.

p_i = coeficiente de probabilidad de presentación, en tantos por uno.

N_i = valores de los descriptores de idoneidad, en una escala de -10 a +10.

n = número máximo de descriptores de idoneidad.

M = Parámetro de permisibilidad, que tomará los valores de +1 ó -1.

En relación con el parámetro de permisibilidad M, el valor de +1 querrá decir que todos los descriptores de permisibilidad son positivos. El valor de -1 significará que por lo menos hay un descriptor negativo de permisibilidad.

Después de operar, un valor por encima de cero, traduce que no hay hipoteca generalizada. Los aspectos positivos que se introducen superan a los posibles negativos "asumibles". No hay aspectos negativos excluyentes.

Un valor de +10 se debe leer como que no hay ningún tipo de hipoteca en la unidad ambiental, de acuerdo con los descriptores considerados, y que, además, se ha optimizado la unidad ambiental en cada uno de sus aspectos.

En el supuesto de que la sumatoria fuese cero, el proyecto se realizará si el parámetro M es positivo. En este caso, la sumatoria "nula" indica que el proyecto ni hipoteca ni optimiza el territorio. Los aspectos negativos "recuperables", que conllevan algunos descriptores de idoneidad, serían compensados por los aspectos positivos de otros.

Si la sumatoria es negativa, el proyecto sería rechazable, independientemente del valor del parámetro M. Los aspectos positivos no compensarían a los negativos, y la acumulación de estos últimos, aunque sean "asumibles" por separado, harán que el proyecto o uso se clasifique como inadmisible.

La metodología gozaría de "bondad" siempre que los indicadores , en un mismo sistema, discriminen, significativamente, y en relación con sus valores numéricos, distintos proyectos o usos, que tendrían evaluaciones de impactos bastante diferenciados o distanciados, por estimaciones ojimetras aprioristicas.

6. EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE UN INDICADOR DE SUSTENTABILIDAD FÍSICA.

Sea un proyecto de explotación de arenas, en el banco sumergido de Pasito Blanco, en la plataforma insular somera del Sur de Gran Canaria (Islas Canarias, España).

La extracción, en un volumen considerable, unos 200 000 metros cúbicos, se localizaría al SW de la Playa de Maspalomas, casi en el borde interno del talud insular, a unos 8 kilómetros de la orilla, y entre 20 y 30 metros de profundidad.

La plataforma litoral, que se afectaría, tiene un lecho de arenas, con algunos afloramientos puntuales de rocas, incluidas areniscas, que se ajusta a un perfil de equilibrio, como lo demuestra:

- las granulometrías de los áridos sueltos de su lecho, y
- las velocidades de las corrientes litorales dominantes, procedentes del NE, a las que está sometida.
- y la ausencia de un proceso de reprofundización.

Las corrientes litorales tienen velocidades capacitadas como para arrancar y transportar a las arenas sueltas de forma "efectiva", que provocaría la reprofundización del lecho, cosa que no ocurre. Y todo esto indica que el perfil se encuentra en equilibrio.

La plataforma, en su conjunto, actúa a modo de "contención", respecto a la Playa de Maspalomas, cuya orilla se encuentra sometida a un retroceso hacia tierra, y a un comportamiento morfodinámico disipativo, con oscilaciones infragravitatorias significativas hacia mar adentro .

La Playa de Maspalomas soporta una potente industria turística, y es el escenario de esparcimiento de los lugareños, de una Isla que se encuentra con una fuerte presión demográfica.

En el "sistema", está incorporado una formación de dunas, el Campo de Dunas de Maspalomas, que se encuentra en recesión. Estos depósitos de arenas eólicas, en un paraje calificado como protegido, desempeñan la función de "despensa sedimentaria" de la Playa de Maspalomas:

- para amortiguar el retroceso de la orilla, y
- frente a los temporales erosivos.

En este ejemplo, para estimar el indicador de sustentabilidad, se podría admitir una metodología de simplificación, que no precisa identificar, describir y evaluar a los distintos descriptores, que entrarían en juego. Si se identificara un sólo descriptor de permisibilidad excluyente, ya directamente se obtendría un indicador con signo negativo, que traduciría la insostenibilidad del proyecto. Y este es el caso, conforme con un grupo de conclusiones, de un estudio realizado al respecto.

Se atentaría al perfil de equilibrio. Y la rotura de este perfil corresponde a un descriptor de sustentabilidad, clasificable como de permisibilidad excluyente.

Con la rotura del perfil de equilibrio del lecho de la plataforma, y con los concursos de las corrientes litorales dominantes y de las oscilaciones infragravitatorias, se produciría una excavación remontante, con sus efectos en el perfil de equilibrio de la Playa, que ocasionaría respuestas de pérdidas sedimentarias en la orilla y en su "despensa". En definitiva, se crearían unas nuevas condiciones añadidas, que favorecerían el incremento de las precariedades sedimentarias, tanto en la Playa como en las Dunas de Maspalomas. Y ambos escenarios poseen altos significados físicos y socioeconómicos, que se deben proteger al máximo.

En el Capítulo 13, se estudió las relaciones entre playas arenosas y plataformas litorales, así como la transmisión de perturbaciones, en los perfiles de equilibrio, desde mar adentro a la orilla.

CAPÍTULO 22

EJEMPLOS DE ACTUACIONES EN PLAYAS Y DUNAS.

ESQUEMA:

1. Introducción.

2. Escenarios de las actuaciones.

3. Criterios adoptados en las actuaciones.

4. Descripción de las intervenciones en las playas.

1. INTRODUCCIÓN.

Desde la década de los años 60, el litoral del Estado español ha estado sometido a una fuerte presión de explotación, en dependencia con el desarrollo industrial. De todas las intervenciones antrópicas, quizás a la ocupación urbanística, ligada a la industria del turismo, le corresponda una buena parte de la degradación medio-ambiental.

Dentro de un marco de ordenación y planificación del territorio, esto ha obligado a proyectos puntuales, o a programas generales de:

- Conservación y/o recuperación de muchos de los 2 000 kilómetros de playas, que hay en los 7 9000 kilómetros del litoral español.

- O creación de nuevos recursos, sobre todo de playas artificiales.

Desde una perspectiva de las playas como

- la "materia prima" de un turismo de "ocio y sol", o
- el recurso de esparcimiento de los habitantes del lugar,

las playas artificiales se requieren cuando las naturales:

- se sobresaturan de usuarios, o
- se encuentran degradadas.

En tales proyectos, o programas, se han establecido dos objetivos básicos:

- la explotación integral del litoral, y
- la optimización de la calidad medio-ambiental.

En la explotación integral del litoral, representan aspectos de mucha importancia:

- la ubicación de industrias,
- la construcción de puertos (comerciales, pesqueros y deportivos), y
- el aprovechamiento de los recursos vivos y físicos.

La optimización de la calidad medio-ambiental se sustenta en actuaciones destinadas:

- a mitigar las contaminaciones industriales y urbanas, y
- a la ocupación/explotación sostenida del suelo y de las aguas litorales.

Aquí se analizan las intervenciones antrópicas, destinadas a la conservación, recuperación y creación de playas, para:

- la industria turística, y
- el uso y disfrute del territorio por los lugareños.

Estas intervenciones han sido muy numerosas, y continúan en la actualidad. Luego, el análisis global de las mismas sería un ejercicio bastante complejo. Por esto, sólo se revisarán las actuaciones que se realizaron durante el quinquenio 1983 - 1987. Este periodo fue muy favorable para la realización de obras costosas, por la expansión económica en que vivía la sociedad española.

Durante el referido quinquenio, se invirtieron 16 500 millones de pesetas (unos 165 millones de dólares), con los que se realizaron más de 300 actuaciones físicas en el litoral.

2. ESCENARIOS DE LAS ACTUACIONES.

Estas intervenciones, por sus tipologías, se distribuyen en cuatro grupos:

- obras de defensa y regeneración de playas,
- obras de paseos marítimos,
- obras de accesos, mejoras y deslindes, y
- obras menores y trabajos de campo.

3. CRITERIOS ADOPTADOS EN LAS ACTUACIONES.

En principio, y de acuerdo con el antiguo MOPU (1988), los criterios que se pretendieron seguir, en estas actuaciones, fueron las siguientes:

En relación con las obras de defensa y regeneración de playas:

1. No construir barreras artificiales, que intercepten el flujo de arena, dependiente del transporte de deriva (paralelo a la orilla).

2. No interferir los transportes / deposiciones naturales de arena, perpendiculares a la orilla, en el dominio marítimo.

3. Descartar la disminución de las reservas sedimentarias naturales de las playas, por extracciones de áridos. Las arenas son recursos que se utilizan en la construcción y/o en la agricultura.

   Gran parte de las arenas de las playas proceden de los cauces de las aguas superficiales. Los áridos llegan a las desembocaduras, y desde estas son redistribuidas a lo largo de la costa, por la acción de las olas del mar (básicamente por un transporte de deriva).

   En las pequeñas playas encajadas, donde:

   - los aportes sedimentarios procedan de las avenidas esporádicas y poco frecuentes, de las aguas superficiales encauzadas, que desembocan en el litoral, y

   - el transporte de deriva haya quedado en parte impedido, y en parte desviado hacia mar adentro.

las extracciones de arena determinarian una degradación y, en muchos casos, una pérdida irreversible del depósito sedimentario.

Sólamente, en zonas muy determinadas, (final de provincias morfodinámicas), se puede permitir la extracción de áridos, previo estudio de las posibles repercusiones y control de las cantidades.

4. Mantener y proteger las dunas litorales, ya que representan despensas sedimentarias naturales, respecto a sus playas arenosas. Así se garantiza una tendencia a la estabilidad de los depósitos playeros, tras los grandes temporales, en estos sistemas naturales interdependientes.

   Las dunas son espacios muy frágiles. Su dinámica puede estar condicionada, entre otros factores:

   - por las pantallas topográficas y/o arquitectónicas, en los límites internos, y
   - por la vegetación, que la cubre y la fija.

   Cuando se construyen grandes edificios, en las proximidades de las arenas, sobre todo si las fachadas de estos son paralelas a sus límites, se producen amortiguaciones en la velocidad del viento, que recorre significativamente los campos de dunas. Ello trae consigo un decaimiento en la capacidad del transporte eólico (*efecto pantalla*). Con esta caida, disminuye, a su vez, la capacidad de almacenamiento sedimentario, que hará reponer, potencialmente, las pérdidas de arena de las playas, después de situaciones oceanológicas importantes, de carácter erosivo.

   La vegetación, que cubre y fija a las dunas, se degrada fácilmente, por la gente a caminar. Se puede producir la indefención de estos depósitos, ante la acción del viento, que vuelve a desplazar la arena hacia el interior. Frente a estas circunstancias, las dunas se tornan "andantes", y queda anulada, en mucho, su función defensiva de las playas.

   Las dos funciones más características de las dunas son:

   - reservas naturales de las arenas de las playas, y
   - configurar parajes recreativos, normalmente de alto valor paisajístico.

   Las dunas pierden, de forma más o menos radical, estas funciones, cuando tiene lugar algunas de las siguientes intervenciones, dentro de los propios recintos:

   - extracción de arenas,
   - construcción de edificios,
   - trazado de carreteras, y
   - levantamiento de paseos marítimos.

   Actuaciones beneficiosas serían, entre otras:

   - la fijación de las dunas, mediante una vegetación específica, y

   - el diseño de senderos, que permitan a las personas pasear por ellas, sin producir ningún tipo de degradación.

En relación con las obras de paseos marítimos.

1. Limitarlos a las zonas urbanas consolidadas, al objeto de impedir el avance de las edificaciones sobre la playa.

2. Construirlos fuera del dominio público. De esta manera, la playa tendrá espacio libre suficiente para que las variaciones estacionales del perfil no se vean modificadas.

3. Eliminar, en estos paseos, las vías de tráfico rodado, para que puedan tener una utilización peatonal y no generen problemas de aparcamientos, ruidos y otros.

4. Y, en definitiva, recuperar una cierta calidad estética y ambiental para las fachadas marítimas.

Admitidas todas las anteriores premisas, quizás sea aconsejable el diseño de paseos marítimos "*en escalones*", extendidos hacia el mar, donde haya una pequeña separación vertical entre los peldaños. De esta forma, quedarían amortiguados los efectos erosivos de la playa, ante temporales inusitados que, por errores de cálculo, no se hubieran tenido en cuenta.

La energía del oleaje del temporal inusitado se disiparía en los "escalones", y no aparecerían reflexiones erosivas significativas. Sólamente habría que hacer operaciones de mantenimiento en la obra marítima, en lugar de paliar las pérdidas de arenas en la playa (problema mucho más grave).

4. DESCRIPCIÓN DE LAS INTERVENCIONES EN LAS PLAYAS.

a). Clasificación de los tipos de intervenciones.

La defensa de las costas lleva consigo, generalmente, una interferencia en el mecanismo natural, que regula la línea de borde, entre la tierra y el mar. Bajo este punto de vista; toda intervención supone una modificación del medio, en relación con su tendencia evolutiva natural.

Las *posturas conservacionistas* se muestran contrarias a toda actuación artificial, por cuanto que de ellas se derivará algún efecto "negativo". No obstante, tampoco se debe ocultar que los cambios naturales presentan, en algunas ocasiones, un balance objetivamente negativo:

- erosión del terreno,
- pérdidas de especies animales y vegetales,
- entre otros ejemplos.

En tales casos, las acción del hombre puede mejorar las condiciones de evolución de la zona, y crear, además, recursos en su propio provecho.

Entre las posturas:

- de no actuación,
- y la de "máximo desarrollo",

existe un amplio abanico de opciones intermedias, para una óptima planificación y manejo del litoral.

Admitidas las actuaciones, y de acuerdo con una terminología de los inicios de la década de los 80, estas se califican en:

- *duras* y
- *blandas*.

Las *actuaciones, o soluciones, duras*, por excelencia, se basan en la construcción de obras marítimas, muy visibles. Se dejan notar, en mucho, el cemento y los acúmulos de grandes bloques. En relación con la dinámica sedimentaria, no se consideran las repercusiones que pueden tener en las playas, de su provincia morfodinámica.

En estos ambientes, las *actuaciones blandas*:

1. Se caracterizan por:

   - Desmantelar estructuras fijas, de actuaciones anteriores, que hayan determinado modificaciones negativas.

- Evitar, en la medida de los posible, la construcción de nuevas estructuras fijas. Sólo se construirían las indispensables.

- Procurar que las estructuras fijas indispensables queden total, o parcialmente, sumergidas.

- Respecto a las estructuras fijas, no obviar el concepto de provincia morfodinámica, la dinámica sedimentaria de la playa en cuestión y el entorno geográfico, en el sentido de que no produzcan distorsiones o impactos paisajísticos, en la incidencia visual.

- Y optar, prioritariamente, por alternativas de la alimentación artificial.

2. Pueden implicar una mayor frecuencia de actuaciones, en sucesivas optimizaciones de una misma playa.

3. Y son más cautelosas respecto a los procesos físicos:

   - Se tienen presente el concepto de provincia morfodinámica, y los procesos sedimentarios característicos de la playa a regenerar.

   - Y se reconoce que se sabe poco sobre las variables que intervienen en la dinámica litoral en general, y en las playas en particular.

En la protección y regeneración de playas, las actuales tendencias metodológicas europeas y americanas, más avanzadas, son decididamente blandas. Muchas de éstas parten de análisis de perfiles de equilibrio y de la "Regla de Bruun". Consisten en la alimentación artificial de la totalidad de los perfiles transversales (Chalier y De Meyer, 1987, y Bruun, 1987).

La alimentación de la concavidad externa del perfil estabiliza a la del estrán, y sustituye a estructuras fijas de sustentación, o de contención, en la playa sumergida.

La técnica es costosa y necesita:

- buenos equipos de dragado, y
- grandes disponibilidades de arena.

Las fuentes de suministro, aunque próximas, tienen que estar fuera de los fondos activos y de "contención". En caso contrario, se afectaría a una provincia morfodinámica:

- la de la playa a optimizar,
- o la de una limítrofe.

con las consecuentes alteraciones de la dinámica sedimentaria de una unidad territorial, en el ambiente litoral. Obviamente, la solución de un problema no debe crear otros.

Para que la actuación tenga éxito, se precisa que la playa externa:

- se comporte como un sistema sedimentario cerrado,

- en donde haya un equilibrio entre ganancias y pérdidas sedimentarias, por transportes paralelos al litoral.

Ello supone:

- Una muy buena delimitación previa de la provincia morfodinámica a intervenir.

- Y un exhaustivo análisis de las circunstancias, que pudieran afectar a su dinámica sedimentaria.

En muchos casos, como ya se ha revisado, las arenas, para una regeneración playera, proceden de depósitos marinos sumergidos, próximos a la orilla. Luego, las extracciones de áridos pueden acarrear la destrucción de algueros, como las praderas de posidóneas (Posidonea oceánica), exclusivas del Mar Mediterráneo, o de praderas de gramíneas marinas. Y todo esto es, de por sí, una actuación dura:

- tanto por el daño que se produce en la biocenosis y funcionamiento de un ecosistema,

- como por el debilitamiento "físico" que se introduce, en la "defensa natural" de un sector del litoral.

Además, la propia alimentación artificial de una playa puede producir el aterramiento y/o enturbiar el medio físico de algueros próximos, y así provocar la regresión de los mismos.

La defensa de una playa se consigue cuando:

- se mantiene el equilibrio sedimentario, y
- se amortigua la erosión.

La estabilidad del depósito arenoso externo de una playa se puede deber, en parte:

- a la reducción del hidrodinamismo, por la presencia de las largas hojas de las posidóneas, o de algas anatómicamente similares,

- y a la retención del sedimento por los rizomas.

Si se consigue estabilizar el perfil cóncavo externo, por la presencia de determinadas praderas, bien desarrolladas, de algas, o de otras especies vegetales, también se bloquea la movilidad del perfil interno: desde la zona de rompientes a la orilla. La erosión más interna queda, de esta manera, amortiguada.

Por otra parte, las acumulaciones de hojas muertas, sobre las playas, atenúan el impacto erosivo del oleaje.

A pesar de las anteriores objeciones, las extracciones submarinas de áridos, y las alimentaciones artificiales de arena en playas, producen impactos "muy puntuales" en los algueros. Estos son mínimos, en comparación con los que causan otras actividades antrópicas, principalmente los barcos pesqueros ilegales de arrastre, en amplios sectores del litoral sumergido somero.

Entre actuaciones blandas y duras, existe toda una gama de matizaciones. Una clasificación, al respecto, sería:

- actuaciones genuinamente blandas,
- obras marítimas casi blandas,
- actuaciones semi-blandas,
- actuaciones semi-blandas "circunstanciales",
- ingeniería dura, y
- intervenciones muy duras.

1. Las *actuaciones blandas*, en una concepción simplificada, serían, en principio, aquellas que se basan en la alimentación artificial. Como obras fijas, únicamente se admitirían los diques exentos sumergidos.

2. En las intervenciones *casi blandas*, la alimentación artificial se apoyaría lateralmente en espigones transversales semi-sumergidos, siempre que estos no interfieran, significativamente, el transporte de deriva de su provincia morfodinámica.

3. Se definen como actuaciones *semi-blandas* cuando estas conllevan diques exentos emergidos, aparte de una alimentación artificial.

4. Las actuaciones *semi-blandas "circunstanciales"* tendrían lugar cuando unos elementos, que normalmente interrumpen el transporte de deriva, pierde ese efecto, de forma relevante:

   - Por estar junto a otros, que determinan intercepción, con una mayor envergadura. Sea el caso de un apoyo, en las proximidades de un puerto.

   - O por ubicarse en un tramo del litoral, de transporte impedido, por la geomorfología de la orilla.

5. Las actuaciones se clasifican como *duras*, de entrada, cuando hay espigones transversales, o curvos, que provocan interferencias en un transporte de deriva. Estos elementos podrían estar asociados, opcionalmente, a diques exentos y/o a una alimentación artificial, incluido el "by passing".

6. Se entiende por actuaciones *muy duras* cuando un conjunto de espigones transversales y diques exentos emergidos impactan fuerte y negativamente en el paisaje, además de interferir, drásticamente, el transporte de deriva.

b). Análisis de intervenciones en el litoral del Estado español.

De una muestra, pretendidamente significativa, de 27 playas, regeneradas o creadas artificialmente, del inventario recogido en la Memoria de Actuaciones en la Costa (MOPU, 1988), se obtiene el siguiente análisis:

1. Un 27% son actuaciones genuinamente blandas.
2. Un 8% representan a obras marítimas casi blandas.
3. Un 15% ejemplarizan a diseños semi-blandos.
4. Un 11% se ajustan a esquemas semi-blandos "circunstanciales".
5. Un 35% se catalogan como productos de una ingeniería dura.
6. Y un 4% corresponden a intervenciones muy duras.

En conjunto, las actuaciones blandas y semi-blandas representan un 61%. Por lo tanto, las duras, en sentido lato, alcanzan un nivel de un 39%. Y esto último está en contradicción con la declaración de principios (criterios a seguir), asumida por los responsables del MOPU (1988).

Dentro de un marco físico, se puede hacer la siguiente distribución:

a). Actuaciones blandas:

Se pueden indicar los siguientes ejemplos:

- Playa de Balerma (Almería),
- Playa del Milagro (Tarragona),
- Playa de Malgrat (Barcelona),
- Playa de Riells (Gerona), y
- Playa de Magalluf (Baleares).

b). Intervenciones casi blandas:

Ejemplo:

- Playa de Las Delicias (Murcia).

c). Diseños semi-bandos:

Ejemplos:

- Playa de Castell de Ferro (Granada),

- Playa de Aguadulce (Almería),
- Playa de Rihuete (Murcia), y
- Playa de Almazora (Castellón).

d). Actuaciones semi-blandas "circunstanciales":

Ejemplos:

- Playa de los Nietos (Murcia),
- Playa Lissa (Alicante),
- Playa de Denia (Alicante),
- Playa de Ribes Rotges (Barcelona),
- Playa de Premiá de Mar - Mongat (Barcelona),
- Playa de C´An Pere Antoni (Baleares),
- Playa de Las Vistas (Tenerife), y
- Playa de Güimar (Tenerife).

e). Actuaciones duras:

Ejemplos:

- Playa de Punta Umbría (Huelva),
- Playa de Estepona (Málaga),
- Playa de Los Urrutias (Murcia),
- Playa de San Antonio de Calonge (Gerona),
- Playa de Pollensa (Baleares).

f). Actuaciones muy duras:

Ejemplo:

- playa de Pedregalejo (Málaga).

PUNTO FINAL

El *"DECÁLOGO DE BRUUN"* es la mejor manera de concluir un texto como éste. En él, se recoge, en clave de humor, una *"ética"* de actuación física, dentro de unos de los ámbitos más codiciados de los litorales: las playas arenosas.

Este "Decálogo" fue formulado, por su autor, de la siguiente manera:

1. Amarás tus costas y tus playas.
2. Las protegerás contra los demonios de la erosión.
3. Las cuidarás sabiamente, en verdad, trabajando con la Naturaleza.
4. No permitirás que las fuerzas de la Naturaleza se vuelvan contra ellas.
5. Proyectarás cuidadosamente, en tu propio interés y en el interés de tu prójimo.
6. Amarás la playa de tu prójimo como la tuya misma.
7. No robarás la propiedad de tu prójimo, ni le causarás daño para tu propia protección.
8. Planificarás en cooperación con tu prójimo, y él hará lo mismo con el suyo, y así sucesivamente. Que así sea.
9. Deberás cuidar lo que hayas construido.
10. Deberás ser misericordioso con los pecados del pasado y los cubrirás con arena.

BIBLIOGRAFÍA

"Todo profesional, y con mayor razón el docente, al ser vehículo y protagonista del conocimiento humano, debe estar adecuado, y permanentemente documentado. La revisión documental es uno de los factores y tareas, que contribuye a la consecución de objetivos de mejora y actualización, de la labor docente e investigadora"

Las Palmas de Gran Canaria, 1984.

Fernando Martín Rubio.

Bascom, W. N. 1959 The Relationship Between Sand Size in Beach-Face Slope. Am. Geophys. Union Trans. 32 (6), 866-874.

Berenguer, J. M. and Enriquez, F. 1989. Disign of Pocket Beaches. The Spanish Case. 1411-1425. In: Edge, B. (Ed.). Coastal Engineering 1988 Proceedings (3 vol). American Society of Civil Engineers. New York. 3009 pp.

Bergström, B. 1989. Quaternary Geological Maps. An Important Tool in Solving Land-Use Comflicts in Norway. Terra (Abstracts of the "EUG V"). pp 101.

Boon, J. and Green, M. 1989. Caribbean Beach-Face Slope and Equilibrium Profiles. 1618-1630. In: Edge, B. (Ed.). Coastal Engineering 1988 Proceedings (3 vol). American Society of Civil Engineers. New York. 3009 pp.

Bowen, A. J. and Inman, D. L. 1966. Budget of Littoral Sands in the Vicinity of Point Arguello, California. CERC. Tec. Mem. 19.

Bruun, P. 1962. Sea Level Rise as a Cause of Shore Erosion. Proc. ASCEJ. Waterways Harbors, 88, 117-130.

Bruun, P. 1987. Ingeneria Costera y Utilizaciin del Litoral. Seminario Internacional sobre Problemas de Uso del Territorio. Planificación y Manejo de Zonas Litorales. Consejo de Europa. Bilbao. 8-17 de octubre. Documento de 28 pp.

Camfield, F and Seeling, W. 1984. Mechanics of Wave Motion. Páginas 2-000/2-148. In: C.E.R.C. 1984. Shore Protection Manual. Vol. I. Deparment of Army. Washington.

Cendrero, A. 1987. Cartografia Integrada de Zonas Litorales Emergidas y Sumergidas, para la Planificación. Seminario Internacional sobre Problemas de Uso del Territorio, Planificación y Manejo de Zonas Litorales. Consejo de Europa. Bilbao. 8-17 de octubre. Documento de 50 pp.

C.E.R.C. 1984. Shore Protection Manual. Vol. I and II. Deparment of Army. Washington. 1272 pp.

Chalier, H. y De Meyer, P. 1987. Renovación de Playas en el Litoral de Bélgica. Seminario Internacional sobre Problemas de uso del Territorio, Planificación y Manejo de Zonas Litorales. Consejo de Europa. Bilbao. 8-17 de octubre. Documento de 19 pp.

Collins, J. and Wier, W. 1969. Probabilities of Wave Characteristics in the Surf Zone. Tetra Tech. Report TC - 149.

Corrales et al. 1977. Estratigrafia. Editorial Rueda. Madrid. 718 pp.

Dean, R. G. 1973. Heuristic Models of Sand Transport in the Surf Zone. Proc. Conf. Engineering Dynamics in Surf Zone. Sudney. N.S.W.. 208 - 214 pp.

Dean, R. G. 1977. Equilibrium Beaches Profiles: U. S. Atlantic and Gulf Coasts. Tech. Rep. Number 12. University of Delaware. Newark.

Dean, R. G. 1982. Models for Beach Profile Response. Tech. Rep. Number 30. University of Delaware. Newark.

Dean, R. G. and Maurmeyer, E. M. 1983. Models for Beach Profile Response. 151-165. In: Komar, P. D. (Editor). 1983. Handbook of Coastal Processes and Erosion. C.R.C. press. Boca Raton. Florida. 305 pp.

Del Moral, R. y Berenguer, J. 1980. Planificación y Explotación de Puertos. Ingenieria Oceanográfica de Costas. Tomo I. M.O.P.U. - C.E.E.O.P. Madrid.

Department of the Army. 1950. Longshore Current Observations in Southern. California. Technical Memorandum Number 13. Beach Erosion Board Corps of Engineers. New Series, Number 456. 54 pp.

Dubois, R. N. 1985. Development of a Shoreline Rhythm, on Banks of North Carolina. Marine Geology, 62, 31 - 53 pp.

Emery, K. O. and Gale, J. F. 1951. Swash and Swash Mark. Am. Geophys. Union Trans. 32 (6), 31 -36 pp.

Enríquez, F. y Berenguer, J.M. 1986. Evaluación Metodológica del Impacto Ambiental de las Obras de Defensa de Costas. CEDEX. Madrid. 40 pp.

Flor, G. 1978. Relación entre la Distribución de Sedimentos y la Circulación Costera en la Región del Cabo Peñas. Trabajos de Geología. Universidad de Oviedo. 10., 183 - 194 pp.

Folk, R. L. and Ward, W. C. 1957. Brazos River Study in the Significance of Grain Size Parameter. Jour. Sed. Petr. 27, 3 - 26 pp.

Friedman, G. M. 1961. Distinction Between Dune, Beach an River Sands from their Textural Characteristics. Jour. Sed. Petrology. 31, 514 - 529.

Galvin, C. J. 1968. Breaker Type Classification on Three Laboratory Beaches. J. Geophys. Res. 73:12: 3651-9

Galvin, C. M. Jr. 1972. A Gross Longshore Transport Rate Formula. Proceedings of the 13th Coastal Engineering Conference. Vancouver. Canada.

Garau, C. 1993. Análisis Tridimensional de una Playa. II Jornadas Españolas de Costas y Puertos. 10 y 11 de mayo de 1993. Gijón. Documento de 43 páginas.

Guza, R. T. and Inman, D. L. 1975. Edge Waves and Beaches Cusps. J. Geophys. Res. , 80.2997 - 3012.

Hasselman, K. 1973. Measurements of Wind-Wave and Swell Decay during the Joint North Sea Project (JONSWAP). Deutsches Hidrographisches Institut. Hamburg.

Hjulström, F. 1935. Studies of the Morphological Activity of Rivers as Illustrated by the River Fyris. Upsala Univ. Geol. Inst. Bull., 25, 221 - 527.

Holman, R. A. 1983. Edge Waves and the Configuration of the Shoreline, 21-33. In: Komar, P. D. (Editor). 1983. Handbook of Coastal Processes and Erosion. C.R.C. Press. Boca Raton. Florida. 305 pp.

Horikawa, K. and Kuo, C. 1966. A Study on Wave Transformation Inside Surf Zone. Proceeding of the 10th Conference on Coastal Engineering (Tokyo). Vol I. 217 - 233 pp.

Horikawa, K. 1978. Coastal Engineering. Univ. of Tokyo Press. Tokyo.

Inman, D. L. and Quinn, W. H. 1952. Currents in the Suff Zone. Proceedings of the Second Conference on Coastal Engineering. A.S.C.E. Council on Wave Research. Barkeley, California. 24 - 36 pp.

Johnson, D.W. 1919. Shore Processes and Shoreline Development. Hafner Publishing. New York. 584 pp.

Kemp, P. H. 1962. A Model Study of the behaviouer of Beaches and Groynes. Proceedings of Institute of Civil Engineers. 22. 191 - 210 pp

Komar, P. 1976. Beaches Processes and Sedimentation. Prentice - Hall. New Jersey. 429 pp.

Komar, P. D. (Editor). 1983. Handbook of Coastal Processes and Erosion. C.R.C. Press. Boca Raton. Florida. 305 pp.

Komar, P. 1988. Intervención oral en Coastal Engineering 1988. Torremolinos (Málaga, España).

Komar, P. 1989. Environmental Controls on Littoral Sand Transport. 1238 - 1252. In: Edge, B. (Ed.). Coastal Engineering 1988 Proceedings (3 vol). American Society of Civil Engineers. New York. 3009 pp.

Komar, P. and Gaughan, M. 1972. Airy Wave Theory and Breaker Height Prediction. 405-417. In: XIII Coastal Engineering Conference Proceedings. Vol I. American Society of Civil Engineers. New York.

Kraus et al. 1989. Toward and Improved Empirical Formula for Longshore and Transport. 1182 - 1196. In: Edge, B. (Ed.). Coastal Engineering 1988 Proceedings (3 vol). American Society of Civil Engineers. New York. 3009 pp.

Krumbein, W. C. 1934. Size Frecuency Distribution of Sediments. Jour. Sedim. Petrol. 4, 65 - 77 pp.

Krumbein, W. C. and Pettijohn. 1938. Manual of Sedimentary Petrography. Appleton. New York. 549 pp.

Krumbein, W. and Sloss, L. 1963. Stratigraphy and Sedimentation. W. H. Freeman and Company. San Francisco.

Leopold et al. 1971. A Procedure for Evaluation Environmental Impact. U. S. Department of the Interior. Washington.

Longuet - Higgins, M. S. 1970. Lonshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves, 1. Journal of Geophysical Research, vol 75, number 33, 6788 - 6801 pp.

Longuet - Higgins, M. S. and Stewart, R. W. 1960. Changes in the Form of Short Gravity Waves on Tidal Currents. Journal of Fluid Mechanics, 8 (565).

Longuet - Higgins, M. S. and Stewart, R. W. 1963. A Note on Wave Setup. Journal of Marine Research, vol 21 (1).

Losada, M. 1986. Las Playas. Conferencias en el C. U. S. de Ciencias del Mar. Las Palmas de Gran Canaria, 18 - 19 de octubre.

Losada, M. et al. 1995. Dictamen sobre la Incidencia de la Extracción de arena en la Llamada "Zona Alternativa" sobre la Estabilidad de las Playas del Sur de Gran Canaria. Dirección General de Costas. Madrid.

Lovelock, J. 1992. Gaia: Una Ciencia para Curar el Planeta. Editorial Oasis. Barcelona. 192 pp.

Mackenzie, P. 1958. Rip Current Systems. J. Geol., 103 - 113 pp.

Martínez, J. 1986. Los Diagramas de Corrientes en Playas. Revista de Obras Públicas. (Madrid). Número de octubre. 767 - 781.

Martínez, J. et al. 1986. Las Dunas de Maspaolmas: Geología e Impacto del Entorno. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria. Universidad Politécnica de Las Palmas. 151 pp.

Martínez, J. 1989. Accretion-Erosion in the Beaches of Canary Islands (Spain). 2738 - 2752. In: Edge, B. (Ed.). Coastal Engineering 1988 Proceedings (3 vol). American Society of Civil Engineers. New York. 3009 pp.

Martínez, J. et al. 1990. La Predicción de la Erosión Intermareal por Temporales en las Playas Arenosas del Entorno Canario. Memorias del Primer Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería. (Las Palmas). 82 - 89 pp.

Martínez, J. y Casas, D. 1991. Diseño Curricular de la Geología de C.O.U. Servicio de Publicaciones. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 117 pp.

Martínez, J. et al. 1992a. La Energía Cinética y sus Efectos en las Playas Arenosas. 473 - 484. In: Alemany, A. (editora). 1992. Historia Natural 91. Depto. de Biología Ambiental. Universitat de Les Illes Balears. Palma de Mallorca. Vol II. 626 pp.

Martínez, J. et al. 1992b. Modelo Matemático de los Procesos intermnareales de Acreción y Erosión en Playas arenosas. Actas de las Sesiones Científicas. III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Tomo 2. 156 - 160 pp.

Martínez, J. et al. 1993a. Simulación Numérica de los Procesos Sedimentarios en la Playa de Sardina del Norte. 1132 - 1141. In: Navarrina, F. y Casteleiro, M. (editores). 1993. Métodos Numéricos en Ingeniería. Vol 2. Sociedad Española de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona. 1788 pp.

Martínez, J. et al. 1993b. Composición Frecuencial del Balance Sedimentario en la Playa Arenosa de Sardina del Norte (Gáldar, Gran Canaria). 1332 - 1336. In: Navarrina, F. y Casteleiro, M. (editores). 1993. Métodos Numéricos en Ingeniería. Vol 2. Sociedad Española de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona. 1788 pp.

Martínez, J. y Casas, D. 1994. Discusión de Casos Particulares de Impactos Físicos en Playas Arenosas, por Intervenciones del Hombre en el Litoral. 143 - 160. In: Martínez, J. y Casas, D. (Editores). 1994. Seminario sobre Territorio Litoral y su Ordenación. Servicio de Publicaciones. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 160 pp.

Mason, C. C. and Folk, B. L. 1958. Differentiation of Beach, Dune and Eolian Flat Environments by Size Analysis, Mustang Island, Texas. Jour. Sed. Petrol. 28, 211 - 226 pp.

Merino, J. 1987. Comunicación personal.

Miche, R. 1944. Mouvements Ondulatoirs des Mers en Profundeur Constante on Décroissant. Annals des Points et Chaussées, pp 25 - 78, 131 - 164, 270 - 292 y 369 - 406. (Referencia tomada de: De la Peña, J. M. 1969. Criterios de Rotura del Oleaje. Ingeniería Civil, número 69, 107 - 120 pp. CEDEX. Madrid.).

M.O.P.T. 1992. ROM 0.3 - 91. 1992. Recomendaciones para Obras Marítimas. Oleaje. Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español. Dirección General de Puertos. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones del MOPT. Madrid. 76 pp.

M.O.P.U. 1988. Actuaciones en la Costa. Secretaria General Técnica. Centro de Publicaciones. MOPU. Madrid. 143 pp.

Munk, W. 1949. The Solitary Wave Theory and its Application to Surf Problems. Annals of the New York Academy of Sciences. Vol. 51. 376 - 462.

Nakamura, M. et al. 1976. Wave Damping Effect of Submerged Dike. Prco. 10. Conf. Coastal Eng.

Pacheco, J. M. 1992. A Simple Modelling of Braid-Like Structures (Rill Marks) Appearing on Sandy Beaches. Rev. de Geofísica, 48, 159 - 164.

Paskoff, R. 1985. Les Littoraux, Impactdes Aménagements sur leur Evolution. Masson. Paris.

Pethick, J. 1984. An Introduction to Coastal Geomorphology. Edward Arnold. London. 260 pp.

Pettijohn, F. J. 1957. Sedimentary Rocks. Harper. New York. 718 pp.

Puig Adam, P. 1979. Cálculo Integral. Ed. Gómez Puig. Madrid. 325 pp.

Rector, R. L. 1954. Laboratory Study of Equilibrium Profiles of Beaches. U. S. Army Beach Erosion Board. Technical Memorandum number 41. 38 pp.

Rice, R. 1983. Fundamentos de Geomorfología. Paraninfo. Madrid. 392 pp.

Sánchez Arcilla, A. 1984. Configuración de la Línea de Costa. 309 - 350. In: Sánchez Arcilla, A. (Director). 1984. Curso Intensivo de Ingeniería de Costas. Universidad Politécnica de Cataluña - M.O.P.U. (Secretaria General Técnica, Servicio de Publicaciones. Madrid). 570 pp.

Sánchez Arcilla, A. 1988. Conferencia en el Curso de Geomorfología en las Costas, dentro del Programa de Doctorado y Máster sobre la "Gestión Urbanística del litoral, con fines Turísticos y de Ocio". Escuela Superior de Arquitectura. Departamento de Urbanismo. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Savage, R. P. 1957. Model Tests of Wave Runup for Hurricane Protection Project. The Bulletin of the BEB. Vol 11.

Seymour, R. and Aubrey. D. 1985. Rhythmic Beach Cusp Formation: A Conceptual Synthesis. Marine Geology. 65. 289 - 304 pp.

Shepard, F. 1967. La Tierra Bajo el Mar. Ediciones Omega. Barcelona. 292 pp.

Shepard, F. 1973. Submarine Geology. Harper an Row Publishers. New York.

Shepard, F. and Young, R.1961. Distinguishing Between Beach and Dune Sands. Journal of Sedimentary Petrology, 31, 196 - 214 pp.

Short, A. 1995. Rip - current Type, Spacing and Persistence, Narrabeen Beach, Australia. Marine Geology, 65. 47 - 71 pp.

Silvester, R. 1970. Development of Crenulate Shaped Bays to Equilibrium. Proc. ASCE. J. Waterways and Harbours Divn. 96 (WW2), 275 - 287 pp.

Stokes, G. 1880. On the Theory of Oscillatory Waves. Mathematical and Physical Papers, I. Cambridge University Press. London.

Sonu, C. J. 1972. Field Observations of Hearshore Circulation and Meandering Currents. J. of Geophys. Res. Oceans and Atms. Num. 18. Vol 77, 3232 - 3247.

Suárez Bores, P. 1974. Génesis y Clasificación Genética de las Formas Costeras. In: Geomorfología Aplicada. Escuela de Ingenieros de Caminos. Universidad de Madrid.

Suárez Bores, P. 1978. Shore Classification - Simple Forms with Prevailing Wind Wave Action. Proceedings the III International Congress I.A.E.G. 4-8 de septiembre. Madrid. Sec. I, vol 2, 150-169 pp.

Suárez Bores, P. 1980. Formas Costeras. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

Suárez Bores, P. 1981. Génesis y Morfología de las Formas Costeras de Erosión. Número de enero. 5 - 8 pp.

Suárez Bores, P. 1985. Morfología Litoral - Playas Artificiales en Canarias (Conferencia). I Jornadas de Oceanografía. Las Palmas de Gran Canaria.

Suárez Bores, P. 1986. Comunicación personal.

Suárez Bores, P. 1988. Comunicación personal.

Suárez Bores, P. 1992. Comunicación personal.

Sunamura, T. 1984. Quantitative Predictions of Beach-Faces Slopes. Geological Society of America Bulletin, 95. 242 - 245 pp.

Trask, P. D. 1932. Origin and Environment of Source Sediments of Petroleum. Gulf. Publ. Co. Houston.

Vera, J.A. 1994. Estratigrafía: Principios y Métodos. Editorial Rueda. Madrid. 806 pp.

Wiegel, R. 1948. Oscillatory Waves. U.S. Army Beach Erosion Board Bulletin, Special Issue, Number 1. July.

Wright, L. and Short, A. 1983. Morphodynamics of Beaches and Surf Zones in Australia. 35 - 64. In: Komar, P. D. (Editor). 1983. Handbook of Coastal Processes and Erosion. C.R.C. Press. Boca Raton. Florida. 305 pp.

Wright, L., Short, A. and Green, M.D. 1985. Short-Term Changes in the Morphodynamics States of Beaches and Surf Zones: An Empirical Predictive Model. Marine Geology. 62. 339 - 364.

Yasso, W. E. 1965. Plan Geometry of Headland Bay Beaches. Journal Geology, vol 73. 702 - 714.

Zenkovich, V. 1967. Processes of Coastal Development. Oliver and Boyd. Edinburgh. 738 pp.