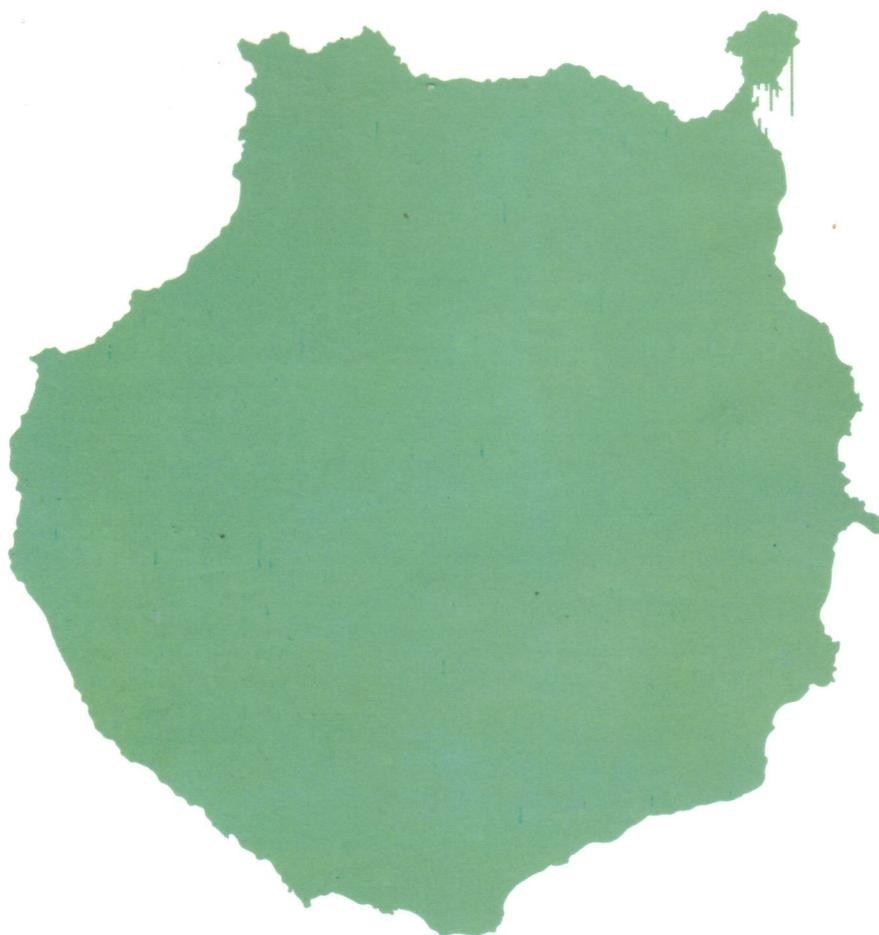


# *Geomorfología Ambiental*

Jesús Martínez Martínez

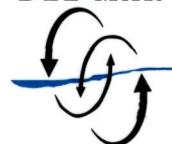


Universidad de Oriente  
VENEZUELA



Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
SERVICIO DE PUBLICACIONES

FACULTAD  
DE CIENCIAS  
DEL MAR



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA

# *Geomorfología Ambiental*

PRIMERA PARTE

*Jesús Martínez Martínez*

Con la colaboración de  
DIEGO CASAS RIPOLL



Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
SERVICIO DE PUBLICACIONES

MARTÍNEZ MARTÍNEZ, Jesús

Geomorfología Ambiental / Jesús Martínez Martínez: con la colaboración de Diego Casas Ripoll. - Las Palmas de Gran Canaria: Universidad, Servicio de Publicaciones, 1997  
196 p.: 29'7 x 21 cm.  
Contiene: Primera parte  
ISBN 84-89728-16-X

I. Geomorfología. 2. Medio ambiente. I. Casa Ripoll, Diego, col. II. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ed. III. Título  
551.4:504

**Edita:** Servicio de Publicaciones  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

**Realización:** Daute Diseño, S.L.

**Depósito Legal:** G.C. - 151 -1997

*A la encantadora Lu Jia, con la que he rediseñado, en sosegadas noches invernales y primaverales de 1995, mis principios filosóficos, mis planteamientos ante la vida.*

*A Ana Trujillo Pinto (A Ana Eva), por su ayuda inimaginable. Se ha procurado tener presente “cuestiones de estilo”.*

*A Daysi Lorena Perdomo, con la que redescubrí nuevos escenarios geográficos, con nuevas dimensiones*

*A Vicky Zapata, mi sendero luminoso.*

*Por aprecio, al Doctor Abul E. Bashirullah.*

ÍNDICE

	Págs.
<b>Presentación</b> .....	11
<b>Prólogo</b> .....	13
<b>Capítulo 1: Concepto de Geomorfología ambiental</b> .....	15
Definición y señas de identidad de una Geomorfología ambiental.....	15
Conceptos básicos complementarios a una Geomorfología Ambiental .....	16
Ejemplo de Geomorfología Ambiental, en un contexto de manejo global de un territorio: Coche, ¿una eco-isla, camino de su destrucción, por una especulación “insostenible” urbanística turística?. .....	16
<b>Capítulo 2: La Geomorfología Ambiental en el contexto de “sistemas”</b> .....	21
Introducción: Concepto de “sistema” .....	21
Estudio de un caso particular, a título de ejemplo, del papel de la Geomorfología Ambiental en el equilibrio ecológico de un sistema .....	21
<b>Capítulo 3: Las cartografías en la Geomorfología ambiental</b> .....	29
Modalidades de mapas.....	29
Los mapas temáticos .....	30
Representación de la información .....	36
Ejemplos de aplicaciones cartográficas .....	36
<b>Capítulo 4: La Cartografía morfodinámica</b> .....	39
Concepto e interés de la cartografía morfodinámica.....	39
Caracterización de la cartografía morfodinámica .....	40
Pautas para la configuración morfodinámica del litoral, en determinados escenarios ilustrativos.....	48
La cartografía morfodinámica a partir de programas informáticos.....	49
<b>Capítulo 5: Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o IGS)</b> .....	53
Los sistemas expertos, a modo de arranque .....	53
Características de los soportes de SIG.....	53
Los soportes denominados SIG y los impactos ambientales.....	55
Los mapas geocientíficos bajo aplicación SIG, para la gestión de recursos.....	59

<b>Capítulo 6: Las “Historias Morfodinámicas” como herramientas de una Geomorfología Ambiental. ....</b>	<b>63</b>
Concepto de “Historia Morfodinámica” .....	63
Interés de conocer “Historias Morfodinámicas” .....	63
Pautas a seguir en las formulaciones de Historias Morfodinámicas .....	64
Formulación de un caso particular, a modo de ejemplo, y sus implicaciones en el manejo del territorio .....	65
<b>Capítulo 7: Las clasificaciones de costas, para el manejo de sus entornos .....</b>	<b>71</b>
Criterios de clasificación. Consideraciones generales.....	71
Clasificaciones estructurales o tectónicas .....	71
Clasificaciones genéticas .....	73
Clasificaciones morfológicas.....	80
<b>Capítulo 8: Procesos y efectos de la erosión, en relación con el manejo del litoral y de otros territorios .....</b>	<b>85</b>
Interés del estudio de las formas del relieve, en un territorio litoral.....	85
Formas antecedentes, consecuentes y mixtas .....	86
Los condicionantes, dependencias y mecanismos en la formación del relieve litoral .....	90
Las “cuñas de erosión” de Suárez Bores, y sus limitaciones, para explicar retrocesos de acantilados y desarrollos de plataformas de abrasión .....	96
Ejemplo de análisis de idoneidades de acantilados, para intervenciones de desarrollo. El caso del Acantilado de Guacuco (Isla de Margarita, Venezuela), ¿un territorio cancerígeno? .....	100
Las costas rocosas como recursos de esparcimiento.....	103
Los relieves de las grandes formas de erosión diferencial. El caso del Escudo Guayanés (Venezuela), con sus tepuys .....	106
<b>Capítulo 9: Procesos y efectos geológicos en taludes y laderas .....</b>	<b>109</b>
Delimitación de conceptos, clasificaciones y aspectos generales de los procesos y efectos geológicos en taludes y laderas .....	109
Condicionantes de contorno en la dinámica de taludes y laderas .....	111
Estudio de un caso particular de movimientos de terreno.....	113
Metodologías para el estudio geológico de taludes y laderas .....	114
La datación de los movimientos en taludes y en laderas.....	116
La Geotecnia en taludes y laderas .....	117
Detección de movimientos de terreno .....	118

Los movimientos de taludes y laderas en relación con el trazado de vías de comunicación y de otros servicios, y en relación con las ocupaciones urbanísticas del territorio.....	119
<b>Capítulo 10: Los ambientes de estuarios y de deltas</b> .....	121
Delimitación de los conceptos de deltas y estuarios, características generales e interés ambiental de estos ambientes .....	121
Condiciones de contorno .....	122
Tipologías, clasificación y evolución de los estuarios .....	124
Formas sedimentarias menores en los ambientes estuarinos.....	126
Procesos y efectos sedimentarios y erosivos, como modeladores de los deltas, y de la evolución de sus líneas costeras .....	127
Procesos de deformación en los deltas .....	130
Evolución, clasificación y dimensiones de los deltas .....	131
Estudio de casos reales, desde la perspectiva de una Geomorfología Ambiental.....	132
<b>Capítulo 11: Los humedales litorales</b> .....	139
Interés del estudio de los humedales .....	139
Delimitaciones conceptuales y condiciones de contorno, clasificaciones y denominaciones de los humedales .....	140
Origen de las lagunas costeras.....	142
Dinámica de las lagunas y charcas costeras .....	144
La sedimentación en las lagunas y charcas costeras .....	145
Estudio de intervenciones físicas en el litoral, que puedan afectar a lagunas costeras. Estudio de casos concretos .....	145
Las llanuras de inundaciones periódicas y sus ocupaciones urbanísticas .....	152
Las llanuras costeras de inundación, como escenarios de identidad significativa en paisajes .....	153
Ejemplo de evolución de un humedal, ante un uso turístico intensivo .....	154
<b>Capítulo 12: Los relieves de formaciones arrecifales coralinas recientes y sus manejos</b> .....	159
Delimitaciones conceptuales y generalidades sobre los arrecifes .....	159
Esquema patrón de los mecanismos para la formación de arrecifes, en sentido restringido .....	162
Condiciones ambientales (físico-químicas, biológicas y geológicas) que se requieren para desarrollos óptimos de formaciones arrecifales coralinas .....	162
Caracterización morfológica y estructural, que pueden compartir los diferentes tipos de arrecifes organógenos.....	165

Clasificación, nomenclatura, descripción, origen y evolución de las formaciones arrecifales de organismos vivos .....	167
Las formaciones arrecifales y la Geología Histórica.....	169
Los arrecifes de Venezuela .....	170
Las presiones ambientales en las formaciones arrecifales coralinas.....	170
La cooperación internacional en la conservación y recuperación de formaciones arrecifales significativas.....	174
<b>Capítulo 13: Los relieves kársticos .....</b>	<b>177</b>
Delimitación de conceptos y descripciones generales.....	177
Condiciones de contorno .....	181
Los escenarios kársticos como talleres de cultura etnográfica .....	183
Los paisajes kársticos emblemáticos de superficie y los paisajes kársticos “underground” .....	184
El avance de una karstificación a corto plazo y las actividades del hombre .....	189
<b>Punto final .....</b>	<b>191</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>193</b>

## P R E S E N T A C I Ó N

*Qué mejor lugar para crear una Facultad dedicada al estudio del mar y su entorno litoral que un archipiélago situado en pleno océano como son las Islas Canarias.*

*La Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, fue creada en el seno de este Centro universitario en el año 1982. El objetivo era claro e ilusionante: formar a profesionales especialistas en Ciencias Marinas con una preparación multidisciplinar del medio marino, haciendo uso de la Física, la Química, la Biología, la Geología y las Matemáticas.*

*Al ser estos estudios totalmente nuevos en nuestro país, y al ser nuestra Facultad la primera en impartirlos en el Estado Español, los primeros años fueron dificultosos. Sin embargo, hoy nuestro Centro es una Facultad totalmente consolidada, tanto desde el punto de vista docente como investigador. Consolidación que se ha visto refrendada por el prestigio nacional e internacional que atesoramos actualmente.*

*Durante estos catorce años de existencia y con diez promociones de alumnos salidas de sus aulas, en nuestra Facultad han surgido importantes Grupos de Investigación y Docencia, en campos tan importantes como la Contaminación Marina, Oceanografía Química, Oceanografía Biológica, Gestión del Litoral, Ecología Marina, Pesquerías, etc.*

*En este sentido, habría que destacar la extraordinaria labor docente e investigadora que el Profesor Dr. D. Jesús Martínez Martínez ha desarrollado en el campo de la Gestión del Litoral. Fruto de este trabajo lo constituye el presente libro "Geomorfología Ambiental", donde se recoge el material docente del curso del mismo título, impartido por el Prof. Martínez en la Universidad de Oriente, en Venezuela. En él, se recogen aspectos tan importantes para la Geomorfología Ambiental como son los Sistemas de Información Geográfica, los Procesos y Efectos de la Erosión, la Estabilidad de las Laderas en Fachadas Litorales, los Ambientes Estuarinos y Deltaicos y los Relieves de Formaciones Arrecifales Coralinas.*

*Este libro, aparte de su extraordinario valor docente e investigador, constituye una muestra del prestigio logrado por nuestros docentes e investigadores a nivel internacional, lo cual supone un enorme orgullo para la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.*

Las Palmas de Gran Canaria, a 29 de Noviembre de 1996

**Dr. José Juan Santana Rodríguez**  
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR  
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

## PRÓLOGO

*“Suave danza la brisa, haciendo nidos en el enramado. Cargado el vientre de fresco, sutil y fragante aroma, abrió sus manos, y con un polvillo de estrellas, impregnó el ambiente. Armonioso y engalanado, la hizo su musa el enamorado”.*

*Desde hace mucho tiempo, el hombre de manera inconsciente ha venido destruyendo los sistemas ecológicos, provocando con ello un deterioro en su equilibrio, lo cual, evidentemente, ha traído graves consecuencias al ambiente. Con su proceder, ha contribuido a la desarticulación de sus componentes (bióticos y abióticos), rompiendo así la armonía y su belleza.*

*Parece mentira, pero el hombre no se ha percatado que la humanidad depende totalmente de la interrelación bien equilibrada de una comunidad de vida llamada biosfera, a la que todos pertenecemos. Si no logramos detener la creciente y peligrosa degradación del ambiente en que vivimos, nuestro fin será inminente.*

*Por fortuna, y gracias a Dios, existen hombres preclaros, que mirando el futuro oscuro y peligroso que corre la Naturaleza, han dedicado su existencia a tratar de protegerla, convencidos en su Yo interior, que sólo en armonía, ella es capaz de irradiar belleza.*

*Indudablemente que para proteger la Naturaleza, hace falta crear en el hombre el sentido de la responsabilidad y el respeto por las leyes que rigen los equilibrios ecológicos. Asimismo, se hace necesario instruirlo, a través de la enseñanza, de lo que es y representa un ecosistema, para que aprenda a comprenderlo y amarlo, a sentir que forma parte de él y que juntos constituyen una unidad indisoluble.*

*La publicación de este libro responde a esa necesidad de saber que tiene el hombre, para poder entender lo que ocurre en su entorno, en cualquiera que sea el ambiente donde se encuentre. Ambiente cuyas características estarán determinadas por las formas de su relieve terrestre. De tal modo que el conocimiento, para identificar, describir y ordenar tal relieve, le permitirá satisfacer sus necesidades, trabajando en ese medio sin alterarlo, conservando siempre la armonía y la belleza.*

*Cabe destacar que la publicación de este libro cobra mayor importancia, por el hecho de que sus ejemplos están concebidos en nuestra tierra, en Venezuela. Esto permitirá a los estudiantes del curso de Geomorfología Ambiental conocer, a plenitud y en detalle, las condiciones ambientales del país. Por todo ello, en nombre de la Universidad de Oriente, expreso infinitas gracias al Dr. Jesús Martínez, por el esfuerzo realizado para escribir este maravilloso y valiosísimo libro, dedicado a esta tierra buena, noble y llena de esperanzas.*

**José Rafael Martínez**  
VICERRECTOR ACADÉMICO DE LA  
UNIVERSIDAD DE ORIENTE (VENEZUELA)

# C A P Í T U L O 1

## *Concepto de Geomorfología Ambiental*

### E S Q U E M A :

1. Definición y señas de identidad de una Geomorfología Ambiental.
2. Conceptos básicos complementarios a una Geomorfología Ambiental.
3. Ejemplo de Geomorfología Ambiental, en un contexto de manejo global de un territorio: Coche, ¿una ecoisla, camino de su destrucción, por una especulación “insostenible” urbanística turística?.

### 1. Definición y señas de identidad de una geomorfología ambiental

La Geomorfología Ambiental, como la Geomorfología tradicional, abarca el conjunto procesos y efectos modeladores de la superficie terrestre, constructivos o destructivos, a causas de agentes geodinámicos externos, aunque a veces tenga un arranque súbito de geodinámica interna, como pueden ser erupciones volcánicas o movimientos sísmicos.

La Geomorfología Ambiental no se contenta:

- con identificar y discutir “curiosidades” científicas, o
- en convertirse en una Geomorfología aplicada, en cuanto a explotación de recursos de por sí, o para identificar, prevenir o mitigar riesgos naturales, tales como deslizamientos, desprendimientos y otros.

Sino que pretende, básicamente:

- Entender los ecosistemas, o sistemas, como un todo (continentes y contenidos), con sus diversas interacciones multidireccionales. De esta manera, no tiene sentido, por ejemplo, un estudio de paisajes, sin una herramienta geomorfológica.
- Participar en la determinación de calidades y de equilibrios ecológicos, con sus vulnerabilidades.
- Y medir determinados aspectos de las sustentabilidades, ante proyectos de conservación, mejora y/o desarrollo, desde una perspectiva de retro-alimentación, entre los factores, procesos y efectos de un sistema, y no según aspectos geomorfológicos aislados.

La definición, que se desarrolla, es un esquema amplio, que da cabida a otras, de autores reconocidos. Por ejemplo, el concepto de Geomorfología Ambiental de Rivas et al. (1995) encaja perfectamente aquí.

Para los autores antes referenciados, esta Geomorfología se desglosa en:

a). **Recursos geomorfológicos.** Por ejemplo, materiales de construcción.

b). **Activos geomorfológicos.** Por ejemplo:

- ciertos componentes arquitectónicos del paisaje,
- lugares de interés geomorfológico, por sus contenidos científicos, didácticos, recreacionales, etc.,
- soporte de otros elementos ambientales,
- etc.

c). **Y procesos geomorfológicos.** Aquí entran:

- riesgos,

- agentes de degradación ambiental,
- y otros procesos.

### 2. Conceptos básicos complementarios a una Geomorfología Ambiental

Conviene definir, con sus delimitaciones, los términos de:

- ordenación, planificación y gestión de un territorio, y
- calificación y clasificación, respectos a usos.

La **ordenación** de un territorio consiste:

- En formular y justificar el conjunto de usos sostenibles, que podrían soportar las unidades ambientales, en función de sus características. Los usos sostenibles implicarían que no se hipotecaran, de forma sensible, sus calidades.
- En ubicar adecuadamente los posibles usos, que sean compatibles con las características medio-ambientales (sectorización del territorio por la idoneidad de su explotación potencial).
- Y en proponer recomendaciones, en relación con las intervenciones actuales.

Todo lo anterior se encontraría bajo un soporte de mapas descriptivos.

A la planificación le corresponde la redacción de proyectos, que se ajusten a una ordenación previa del territorio.

Conforme con el conocimiento y comprensión de los procesos y efectos físicos, químicos y biológicos, y de acuerdo con supuestos socioeconómicos, la gestión, o manejo, comprende la toma de decisiones, que conlleva:

- A la ejecución de proyectos planificados,
- A la protección y conservación de unidades ambientales, ante las modificaciones dependientes de sus explotaciones, por la ejecución de los proyectos planificados.
- Y a la optimización de territorios, degradados por las utilidades pretéritas y/o actuales, que no estaban, o están, contempladas en correctas ordenaciones y planificaciones.

Las “**calificaciones**” se refieren a los tipos de usos, que podrían soportar, o soportan, determinadas porciones de territorio, mientras que las “**clasificaciones**” cuantifican las intensidades de estos usos.

### 3. Ejemplo de Geomorfología Ambiental, en un contexto de manejo global de un territorio: coche, ¿una ecoisla, camino de su destrucción, por una especulación “insostenible” urbanística turística?.

La Isla de Coche, en el Estado de Nueva Esparta (Venezuela), geológicamente está constituida, casi en su totalidad:

**a).** Por materiales del Plioceno:

- areniscas y conglomerados,
- margas, y
- fragmentos de conchas de coquinas,

**b).** Y por materiales más recientes, desde el Pleistoceno inclusive:

- aluviones,
- terrazas sedimentarias,
- formaciones arenosas calcáreas, que pueden proceder de fragmentos de conchas de coquinas, y
- conglomerados.

Los materiales más recientes se cartografían en:

- el NW, en el área de Las Salinas, y
- en el Sur, en el contorno de El Saco, incluida su “flecha”, y sus penetraciones sedimentológicas hacia tierra, a través de valles.

A partir de una primera aproximación de cartografías:

- de Geomorfología Ambiental, que abarque los procesos y efectos sedimentarios costeros,
- y de paisajes,

complementadas por identificaciones y discusiones:

- de riesgos naturales y ambientales del equilibrio ecológico, o
- de las calidades de la Isla,

sustentadas, en muchos casos, en observaciones, interpretaciones y valoraciones provisionales, se llega a la siguiente leyenda, de un posible mapa de síntesis, leído e interpretado, de una forma generalizada, en un barrido desde el Oeste al Este:

- 1. Oleaje dominante del NE**
- 2. Corrientes de deriva, del oleaje del NE**, con sus posibles transportes.
- 3. Corrientes de deriva, del oleaje del NE difractado**, con sus posibles transportes.
- 4. Oleaje de temporales del NW.**
- 5. Corrientes por gradientes de sobre-elevación**, del agua del mar sobre el estrán, en relación con el oleaje del NW, con sus posibles transportes.
- 6. Corrientes de deriva, por el oleaje difractado del NW**, con sus posibles transportes.
- 7. Depósitos de arenas, por una singularidad climática positiva (C).**

La formación de La Punta arenosa, en el extremo NW de la Isla, quizás se haya debido a alternativas deposiciones de áridos, por corrientes y transportes originados:

- por la incidencia oblicua de oleajes del NE,
- y por gradientes de sobre-elevación del agua del mar sobre el estrán, en dependencia con los temporales del NW.

Aquí, no se puede descartar que sólomente hayan participado transportes del NE, a partir de una singularidad geométrica negativa (g).

- 8. Paleo-barras de cantos redondeados**, formadas y emergidas durante un progresivo proceso de regresión marina. En la actualidad, se ha invertido esta geodinámica, y a consecuencia de ello, algunas de estas paleo-barras, en el sector más occidental, se están erosionando (recortando), por la acción del mar.
- 9. Presencia de aves.**

Ante todo, se tiene que considerar que no hay estudios detallados de biocenosis en la Isla. Por lo tanto, es muy poco lo que se conoce sobre los contenidos de aves, en estos escenarios.

Según informadores locales y conocedores alóctonos del lugar (6-07-96), las aves son, principalmente, transitorias diurnas (?). Se han identificado:

- cotúas (aves parecidas a patos),
- pelícanos,
- guanaguanares (se asemejan a un híbrido entre palomas y gaviotas),
- y otras.

- 10. Áreas de potenciales desarrollos urbanos**, según las autoridades insulares, dentro del dominio de Las Salinas.

Uno de los contenidos más significativos de la Isla de Coche es el escenario geográfico de Las Salinas. Si se destruye ésta, total o parcialmente, por un desarrollo urbanístico turístico, la Isla pierde, en una muy buena parte, sus encantos. En tales circunstancias, carece de justificación su destino como lugar de relajamiento y disfrute de los lugareños y como zona de atracción turística. Lo que quedaría con un relevante interés serían únicamente los acantilados de El Coco, con sus miradores paisajísticos.

La Playa occidental, con La Punta, no tiene una atracción especial. Es una de las muchas que se pueden encontrar en su entorno muy próximo (en la Isla de Margarita). En esta última Isla, aún quedan playas con buenos contenidos ambientales-paisajísticos.

11. Zonas relicáticas de la “Laguna Costera de Las Salinas”.
12. Llanura costera de inundación (Las Salinas).
13. Pista de aterrizaje.
14. Colinas. Definen relieves bajos, con cotas de coronación de unos cuarenta metros, como máximo.

Pueden constituir zonas admisibles de desarrollo urbano turístico, siempre que se ajusten a las siguientes limitaciones, entre otras:

- Tipologías edificatorias bajas, concorde con la morfología de su entorno geográfico.
- Alta calidad (de materiales, infra-estructuras y confort).
- Instalaciones anexas de una planta de tratamiento de aguas servidas.
- Cableado subterráneo de servicios (tendido eléctrico y telefónico), a través de las colinas, para que no representen impactos paisajísticos.
- Baja capacidad de camas, en su conjunto.
- Iluminación “amarillenta” de las vías públicas, para que no se crearan perturbaciones nocturnas a las aves de las lagunas, de Las Salinas y de otros lugares de la Isla.

En realidad, las propias colinas pueden representar “pantallas de ocultación”, respecto a impactos paisajísticos periféricos, en relación a recorridos usuales de las cuencas paisajísticas más significativas (sea, sobre todo, el caso de Las Salinas).

En el entorno de Las Salinas, las posibles edificaciones se encontrarían a espaldas del punto singular de observación de la cuenca visual significativa, detrás de los usufructuarios del paisaje. El “mirador” se ubica junto a la Fuente de Soda, de la “terminal” de la pista de aterrizaje.

15. Puntos singulares de observación, de cuencas paisajísticas (“miradores”), con sus visuales delimitantes.

Los miradores más interesantes se sitúan y situarían:

- En la convexidad y tramo rectilíneo del NE insular, sobre los acantilados de El Coco (miradores de Ana Eva y de Piedras Negras). Entre estos, por la orilla, discurre un “recorrido paisajístico”, de muy alto valor, donde se dan observaciones de detalle, de fuerte contenido “plástico”. Casi al final de este trayecto, en su tramo más oriental, hay un gran tronco de árbol, procedente de la desembocadura del Orinoco, y transportado por las corrientes marinas, en un periodo de temporales. Este elemento, a proteger, da curiosidad e interés puntual al disfrute del paisaje. El conjunto del escenario tiene un componente geomorfológico muy peculiar, de gran rareza en su entorno, que está caracterizado por un enmarque de litologías policromáticas, donde las coloraciones son calientes y contrastadas. Las cuencas visuales encierran bad lands angostos, acantilados abruptos y/o caletas de arenas rubias, bañadas por aguas muy azules y cristalinas. Estos paisajes, normalmente, se encuentran envueltos por un cielo limpio, que destaca por una intensa coloración celeste, y en donde ocasionales y caprichosas nubes blancas pueden incrementar la riqueza en los coloridos y en la percepción de las formas.
- En la cota más alta del Acantilado del Amor, al Oeste de El Bichar. Se puede usufructuar el paisaje de El Saco. Aquí, el fondo escénico esta constituido por Chacopata y la Península de Araya, ya en el continente.
- Y por delante de la Fuente de Soda, sobre la “terminal” de la pista de aterrizaje. Desde este mirador, se obtiene la panorámica paisajística, que proporciona, en gran medida, la “personalidad” de la Isla de Coche. Se observan Las Salinas, que configuran el sector NW insular. La diversidad topográfica (los distintos planos de profundidad y las roturas de líneas de los horizontes) la proporciona los relieves de la Isla de Margarita (Sierra Copei), hacia el Norte. Las Salinas, con lagunas y espejos de aguas relicáticas, describen un paisaje de cambios estacionales, por las evoluciones cromáticas, que conllevan los procesos en la formación de evaporitas. Se pasa de coloraciones azuladas de los cuerpos de agua a las coloraciones rojizas - violáceas, por contenidos en manganeso (?), y a blanquecinas, de las sales, cuando las superficies de agua se secan. Desde el punto singular de observación, la carretera construida junto a la orilla septentrional de Las Salinas, no supone un impacto paisajístico.

16. Acantilados inestables de materiales limo-arcillosos, con más o menos proporciones de arenas, gravas, cantos y bloques. Presentan y desarrollan:

- escarpes verticales, con potencias aproximadas, o superiores, a los 10 metros, y
- estrechas y profundas cárcavas, transversales a la línea de costa.

Los acantilados, que se identifican aquí, son muy adecuados para especular con la penetración máxima de la “*cuña de erosión*”, de Suárez Bores (1980).

En general, los procesos de erosión, y del retroceso de la línea de costa, hacia tierra, van a estar muy condicionados, y en dependencia, con los movimientos relativos del nivel medio del agua del mar (movimientos eustáticos y/o epirogénicos), y con el clima marítimo.

Todo esto hay que tenerlo muy presente, a la hora de manejar las superficies de coronación.

De entrada, se estaría frente a dinámicas erosivas bastante parecidas a las de los Acantilados de Guacuco, en la Isla de Margarita (Venezuela), y habría que aprender de sus “enseñanzas”.

Las “*tentaciones*” de Los Acantilados de El Coco son sus “*apetecibles*” ocupaciones urbanísticas, de las superficies de coronación, para un pretendido usufructo paisajístico, y de un turismo de “*sol y playa*”. Pero entonces, se introducirían unos elementos distorsionantes:

- tanto como endo-impactos,
- como peri-impactos,

que harían que se perdiesen, en buena medida, las “*reservas*” (la calidad del paisaje decaería mucho), en lugar de usufructuar, de forma sostenible, sus recursos.

Los usufructuarios de escenarios:

- paisajísticos, que propician una “*comunidad*” con una “*Naturaleza excepcional*”, y
- de playa y sol,

se beneficiarían con la utilización:

- de miradores,
- y de unos recorridos acondicionados.

durante visitas programadas y guiadas, o libres.

Como ayuda, tendente a un máximo aprovechamiento de estos parajes, convendría que se instalasen, con distribuciones estratégicas, y sobre pies rocosos, una serie de lápidas, que indicasen direcciones de observaciones de interés, con descripciones someras.

Las residencias habitacionales, habituales u ocasionales, de los usuarios deberán estar fuera del entorno de los acantilados. Se encontrarían en los actuales núcleos urbanos del occidente de La Punta, o en la próxima Isla de Margarita.

### **17. Barra “interna” de áridos (de arenas), de El Saco.**

Esta barra se ha formado a causa del frenado de un transporte de deriva, creado por un oleaje difractado del NW. Un bajo fondo fangoso (19) “disipa” la energía de las corrientes, con lo que cae la capacidad de carga en el transporte. De esta manera, se provoca la deposición sedimentaria de las arenas.

### **18. Flecha de El Saco, en relación con corrientes y transportes de deriva, de oleajes difractados del NE.**

### **19. Depósitos de fangos de El Saco, que determinan una bahía (El Saco) de bajos fondos, muy someros.**

Las deposiciones de los limos y arcillas están favorecidos por el dominio “habitual” de bajas energías, que crea la flecha externa delimitante (18), respecto al oleaje dominante, aquí de un NE difractado.

El ambiente tiene interés, entre otras cosas:

- por los recursos vivos explotables que contiene (pepitonas), y
- por representar un área de desove.

**20. “Llanuras” aluviales endorreicas (“cañadas”), con estacionales lagunetas, de aguas superficiales “continentales”, en la vertiente meridional insular.**

No se deben confundir estas llanuras con salinas, que podrían evolucionar, estacionalmente, a lagunetas costeras. Dentro de este litoral, se pueden encontrar los dos tipos de llanuras y de lagunetas.

Desde San Pedro hasta El Guamache, a lo largo de la carretera, se identifican y describen toda una serie de llanuras endorreicas. A esta carretera se la podría denominar, turísticamente, “Ruta de Las Cañadas”.

**21. Valle de potencial desarrollo agrícola, entre El Guamache y Sulica, en el sector SE insular.**

## C A P Í T U L O 2

### *La Geomorfología Ambiental en el contexto de “Sistemas”*

#### E S Q U E M A :

1. Introducción: Concepto de “sistema”.
2. Estudio de un caso particular, a título de ejemplo, del papel de la Geomorfología Ambiental en el equilibrio ecológico de un sistema.

#### **1. Introducción: Conceptos de “Sistemas”**

Se entiende por “sistema” un conjunto de ecosistemas interdependientes:

- respecto al equilibrio ecológico zonal, y
- en relación con una o varias variables ambientales, como podrían ser las que rigen los procesos y efectos sedimentarios.

El recipiente físico de un sistema se identifica con la Geomorfología Ambiental del mismo.

Los sistemas constituyen las unidades ambientales preferenciales, para el estudio de procesos y efectos concatenados:

- de Geomorfología Ambiental,
- de los componentes físico-químicos del contenido, de fuerte incidencia en la calidad de vida, y
- de la biocenosis.

Por todo ello, entre este continente y su contenido, obviamente hay estrechas dependencias, con flujos multidireccionales, de doble sentido, de repercusiones mutuas, cuando se producen alteraciones parciales. Las “presiones” en uno, o algunos, de los componentes de un determinado sistema tendrán repercusiones en la totalidad del escenario en cuestión, incluida la Geomorfología Ambiental. Y de aquí que estas unidades geográficas sean las idóneas para una ordenación, planificación y manejo del territorio, y no los ecosistemas particulares, artificialmente aislados de sus escenarios de contorno, con los que forman unidad, por sus recíprocas influencias.

En este capítulo, se pretende estudiar el papel que juega la Geomorfología Ambiental, en un sistema dado, a modo de ejemplo, y los cambios que pueden sufrir, frente a presiones ambientales, y cómo estos cambios pueden desencadenar series de procesos y efectos colaterales, en el resto del entorno.

#### **2. Estudio de un caso particular, a título de ejemplo, del papel de la geomorfología ambiental en el equilibrio ecológico de un sistema.**

##### **1. Escenario.**

Los escenarios, de este ejemplo, se sitúan en el entorno geográfico del Caribe venezolano, concretamente en el área más septentrional del Parque Nacional de Morrocoy, al NE del Golfo Triste, en el Estado Falcón.

Se abarcan dos sectores: uno continental y otro de mar adentro:

- a). El sector continental se encuentra dominado por el Cerro Chichiriviche, calcáreo, donde se desarrollan importantes y significativos procesos kársticos. Las cotas de coronación superan los 250 metros. La fachada costera del Cerro contiene llamativos acantilados y cuevas.

Tierra adentro, hacia el Norte de esta formación rocosa, se suceden un brazo de mar y humedales, que dan cobijo a más del 70 % de las especies de la avifauna venezolana y a un 50 % de las aves migratorias.

- b) La zona de mar abierto encierra bajas, islotes y cayos coralinos, con playas de arenas muy hermosas, muchas de ellas bajo la sombra de los alóctonos cocoteros.

En zonas con identidad, de todo este conjunto, hay una colonización de manglares, con procesos de conquista del medio marino. El mangle adquiere la distribución zonal característica del Caribe, conforme con Tomlinson (1986). Desde la orilla hacia tierra, suelen sucederse:

- los manglares rojos (*Rhizophora mangle*),
- los manglares negros (*Avicennia germinans*),
- los manglares blancos (*Laguncularia racemosa*), y
- los manglares prietos (*Conocarpus erectus*),

aparte de otras zonaciones, más internas, que limitan la flora de la zona continental.

La temperatura promedio anual, de este escenario, se encuentra entre los 26 y 27 grados centígrados.

## 2. Metodología en el estudio del ejemplo.

El ejemplo se basa en un trabajo, que ha tenido, como soporte, las siguientes metodologías y técnicas:

### 1. Caracterización del clima marítimo regional, a partir:

- de bancos de datos de oleaje, facilitados por la Armada de Venezuela,
- y de estadísticas climatológicas de Venezuela (periodo de 1961-1990), a partir del Ministerio de Defensa de Venezuela (1993).

### 2. Análisis e interpretación de fotografías aéreas, y de mapas topográficos, batimétricos y geológicos.

### 3. Diseño, en un croquis, y adecuadamente identificables, de estaciones significativas de muestreo.

### 4. Muestreos sedimentológicos y caracterización de los áridos, por análisis de laboratorio.

### 5. Muestreos y caracterización físico-química y sanitaria de las aguas marinas, lagunares y de los cuerpos de agua de las salinas.

### 6. Muestreos y caracterización de la biocenosis acuática y terrestre.

### 7. Cartografía y caracterización de las formaciones de manglares, de las zonas en estudio.

### 8. Obtención y discusión de documentación fotográfica.

### 9. Y enumeración y descripción de las intervenciones antrópicas, en el entorno de un determinado ecosistema, integrante del "sistema" en estudio, y análisis de las repercusiones direccionales de estas, en cadena y en red, dentro de los equilibrios ecológicos, en los restantes ecosistemas interdependientes.

## 3. Resultados y discusiones.

El escenario de Chichiriviche se encuentra constituido por los siguientes ecosistemas interdependientes:

- Cayos coralinos, muchos de ellos colonizados por manglares.
- Litoral continental de manglares
- Golfete de Cuare, bordeado de manglares. Su interior también contiene manchas de manglares.
- Canales y caños.
- Laguna Ostional.
- Y el Humedal de Las Salinas,

En una cartografía, se podrían recoger los siguientes contenidos:

### 1. Cerro de Chichiriviche, con relieves kársticos.

### 2. Cueva del Indio, en el Cerro de Chichiriviche. Contiene estalactitas, estalagmitas y petroglifos (documentación etnográfica).

### 3. Cueva de la Virgen (de interés cultural-etnográfico), también en el Cerro de Chichiriviche.

### 4. Canal del Amor: Caño embovedado por mangle rojo. El lugar tiene interés botánico-paisajístico.

5. Bajo fondo, a la entrada del Canal de Panamá. Se mide una profundidad inferior a los 40 centímetros (28-12-95). En este Caño, cabe la posibilidad de observar la presencia de caimanes, de hasta dos metros de longitud
6. Canal de Panamá (o Canal El Buco). Comunica el Golfete con la Laguna Ostional.
7. La Laguna Ostional. El cuerpo de agua representa un reservorio reposicional de peces, para Las Salinas.
8. Canales de comunicación entre la Laguna Ostional y Las Salinas.
9. Las Salinas. Estacionalmente evolucionan a “laguna costera”, en relación con la subida de las mareas (de diciembre a marzo).
10. Carretera desde el Cruce a Chichiriviche, sobre un terraplén. Tiene un recorrido de 12 kilómetros.
11. Río Estero (Caño). Sólo inunda a Las Salinas cuando recibe las aguas desbordadas del Río Tocuyo, y esto acontece, aproximadamente, cada 15 años.
12. Fábrica de cemento.
13. Franja de manglares en degradación.
14. Explotación de las aguas del Río Sanare.
15. Sumidero del Río Sanare. Por un proceso kárstico, pasa a subterráneo.
16. Manglares en regresión, ¿quizás por descenso del caudal o del nivel subterráneo del Río Sanare?. El descenso lo provocaría la explotación hidráulica superficial, aguas arriba.
17. Desembocadura subterránea del Río Sanare.
18. Bocana, en tierra emergida, del emisario de las aguas servidas (residuales), del Hotel Mario. Estas aguas contaminan a un sustrato “potencial”, que fue real, del mangle, del sector más oriental de Las Salinas.
19. Comunicaciones, bajo el firme de la carretera, entre los cuerpos de agua de los dos sectores de Las Salinas, con las mareas más altas (a partir de diciembre, hasta marzo).

En el sistema, que se ejemplifica, se establecen las siguientes características y dependencias:

a). **Las Salinas** es un humedal, muy próximo a la Laguna costera de Ostional, que actúa de interposición comunicativa con el Golfete de Cuare. En el límite septentrional del humedal, desemboca el Río Estero.

El ambiente de Las Salinas se encuentra artificialmente dividido en dos sectores, por la carretera de Chichiriviche. Esta “barrera”, no obstante, contiene, bajo el firme, dos conductos de comunicación, a unos siete kilómetros, desde el cruce con la carretera Coro - Tocuyo de la Costa.

A lo largo del año, el humedal evoluciona de laguna costera, en sentido estricto (alrededor de diciembre), a unas salinas (meses de julio, agosto y septiembre). El carácter lagunar se mantiene, aproximadamente, hasta el mes de marzo. En la evolución a laguna costera, tiene un papel decisivo la subida del nivel medio del mar, con las mareas más vivas, que acontecen en el invierno astronómico. Las aportaciones de agua dulce no son significativas, con la excepción de situaciones inusitadas, que ocurren, aproximadamente, cada 15 años. En esas situaciones poco usuales, el Río Tocuyo se desborda, y sus aguas llegan al Río Estero (Caño), que, a su vez, inunda a Las Salinas. Las inundaciones incluso afectan al pueblo de Chichiriviche. El nivel del agua puede subir hasta la carretera.

En realidad, los dos márgenes sin aguas de algunos tramos de la carretera, desde el cruce hasta el pueblo de Chichiriviche, forman parte del “dominio seco”, que ocupa el humedal cuando lo requiere. En este dominio, el nivel freático está a menos de un metro de profundidad.

Luego, las ocupaciones urbanística, o para otros usos determinados de desarrollo, de “dominios secos” de humedales, que, en apariencia, se encuentran “permanentemente” secos, pero que soportan periódicas inundaciones, traen consigo serios riesgos, no achacables a la dinámica de la Naturaleza. Estos espacios geográficos, como los cauces de quebradas, de barrancos y de ríos, entre otros, forman parte del sistema de “acantarillados” y “depósitos de regulación” de las aguas superficiales. Sin embargo, estas perspectivas no son consideradas, y se ocupan periódicamente territorios, que traerán posteriores problemas. Entre otros muchos ejemplos, aparte de éste, es la urbanización turística de Dunes, que se ha edificado junto a la Playa de Puerto Cruz, en el “dominio seco” de una laguna costera, que anualmente se ensancha, en la Isla de Margarita, también en Venezuela.

En el caso concreto de Chichiriviche, el núcleo poblacional carece de acantarillado y de una planta de tratamiento de las aguas residuales urbanas (de las aguas servidas). Como procedimiento normal, las viviendas llevan anexas pozos sépticos, de fondo abierto en el acuífero. Las aguas del acuífero descargan en el mar abierto y en el Golfete, con los consecuentes:

- aportes de nutrientes, que pueden romper los equilibrios ecológicos,
- introducción de metales pesados, que pueden contaminar las cadenas tróficas, y llegar incluso al hombre,
- a parte de inducir otros cambios físicos-químicos y bacteriológicos.

En el Humedal de Las Salinas, y en circunstancias normales, las comunicaciones de los dos cuerpos de agua, con el medio marino, proporcionan el contenido suficiente en sales, para que, estacionalmente, el ambiente pueda permitir la precipitación de evaporitas.

En la etapa de laguna costera, en sentido estricto, hay una buena riqueza poblacional de peces, a partir:

- De comunidades persistentes, en los relictos sectores húmedos, dentro del entorno de salinas, durante los meses del verano astronómico.
- Y de renovación de poblaciones, desde el Golfete - La Laguna, cuando se establecen comunicaciones entre estos ambientes, en el invierno.

Este contenido en peces hace que el humedal sirva de áreas de “hibernada” y de “dormitorio”, a determinadas aves ictiófagas, migratorias o no, como las albinas garzas, los castaños pelícanes y las negras tijeretas. Estas aves ictiófagas conviven, en este escenario, junto a los rosados flamíngos (detritívoros), a las rojas corocoras (carnívoros, de organismos pequeños), y a los patos azules canadienses (también carnívoros, de pequeños organismos), entre otras especies orníticas. Las aves migratorias pueden proceder de Curaçao, de Los Andes y de otras zonas.

**b). El Golfete de Cuare** es un angosto “brazo de mar”, de dirección E-W, que nace, tras una curva en semi-circunferencia, en la Bahía de Chichiriviche, también bastante cerrada, que tiene su eje en la dirección N-S.

El cuerpo de agua encierra islotes de conquista del medio marino por los manglares y cinco cayos coralinos.

Este ambiente tiene una longitud de unos 12.5 kilómetros. Su anchura promediada está alrededor de los 2.3 kilómetros.

La profundidad del Golfete es variada: de unos dos metros, en su eje central, a menos de cuarenta centímetros, a la altura del Canal de Panamá (o Caño El Buco), que establece la comunicación entre este cuerpo de agua y La Laguna Ostional. En general, el Golfete se encuentra tapizado por Fanerógamas marinas y por algas.

La Bahía y el Golfete están delimitados por unos relieves labrados por procesos kársticos. Algunos de sus rincones adquieren encantos especiales, por las bellezas que proporcionan las formas caprichosas de disolución, y las constructivas (estalactitas y estalagmitas). Como ejemplo, se puede citar la Cueva del Indio. Los petroglifos son frecuentes.

En relación con los procesos kársticos, el Río Sanare pasa a ser subterráneo, en su último tramo, y desemboca como aguas subterráneas, en el saco del Golfete, en su sector meridional. La explotación antrópica del Río, en su tramo de aguas superficiales, hace que haya disminuido el caudal de la desembocadura, con lo que desciende el nivel freático. Esta disminución parece que repercute en los manglares, que se desarrollan junto a la desembocadura. En principio, se encuentran en una fase de degradación.

En el margen septentrional del Golfete, en el sector próximo a la pronunciada curva oriental, se encuentra una zona claramente degradada de manglar. De entrada, se debería a la terminal del emisario emergido, en su totalidad, de las aguas residuales (servidas) del Hotel Mario.

El vertido de aguas servidas, junto a la orilla, pero tierra adentro, da lugar a una lodificación, que determina la muerte de manglares, la retirada del mar, y el avance de la desertificación.

En ese mismo margen, pero rebasada la curva, ya en la Bahía de Chichiriviche, hay una fábrica de cemento, paralizada aproximadamente desde 1993. Sin embargo, sus instalaciones se utilizan hoy día para embarque de cemento, procedente de otra cementera. Tanto las antiguas actividades de la fábrica, como las operaciones actuales de embarque, producen un polvo de cemento, que se dirige y se deposita, por los vientos dominantes del NE, en el sector oriental del Golfete. Las hojas de la vegetación subacuática quedarían recubiertas por el polvo. Con ello, se dificulta la función fotosintética, y aparece, en un proceso relentizado y propagante en el tiempo, aún después de desaparecer las causas, la muerte progresiva de la vegetación. Esta muerte lleva consigo un proceso de

putrefacción, que consume cantidades excesivas de oxígeno. Así se llega a situaciones de anoxia, que determinan la muerte de los peces.

Pero las situaciones de anoxia pueden tener otras motivaciones añadidas o significativas, por sí mismas. Por ejemplo, los aportes de nutrientes, por la descarga de las aguas subterráneas del acuífero, contaminadas por los pozos sépticos. Los nutrientes añadidos pueden provocar una eclosión excesiva de microalgas (proceso de eutrofización). Éstas pueden estar determinando una pantalla, en la parte superior de la columna de agua, que impida la llegada de la adecuada cantidad de luz, para las funciones fotosintéticas, de la vegetación subacuática, con todas sus implicaciones. Efectos parecidos podrían ocasionar otras actividades, que aporten nutrientes al medio. Sea, por ejemplo, el caso de la explotación de una camaronera.

La destrucción de la vegetación subacuática, aparte de crear situaciones de anoxia, puede llevar asociada la disminución de la capacidad de retención de sedimentos, de las aguas que llegan al ambiente, o de las removilizaciones locales del fondo.

**c). Los manglares** continentales orlan, con formación de islotes de conquista:

- la orilla abierta del Sistema de Chichiriviche,
- el perímetro del Golfete,
- y los límites de Las Salinas.

En el caso del Golfete, resultan espectaculares y bellos los llamados “canales”: estrechos brazos de agua, rodeados de manglares rojos y negros, cuyas copas se entrecruzan, a modo de bóvedas. Dos son los canales más conocidos:

- El “Canal del Amor”, casi en el extremo oriental del límite septentrional.
- Y el “Canal de Panamá” (o Caño El Buceo), también en el límite septentrional, pero en el extremo occidental. Tiene una longitud alrededor de los seis kilómetros, y comunica el cuerpo de agua del Golfete con la Laguna Ostional. Destaca la presencia de caimanes.

**d). La Laguna Ostional** representa a un cuerpo de agua, casi circular, de unos 0.8 kilómetros de diámetro, con dos apéndices, casi en la dirección E-W, de unos 600 metros de longitud, por una amplitud promediada, que rebasa los 100 metros.

La Laguna es el eslabón de interposición entre el Golfete y Las Salinas. Con ambos ambientes mantiene comunicación.

**e). Los Cayos** se originan de la actividad de las formaciones coralinas. Serían la consecuencia de la erosión y deposición sedimentaria “in situ” de arrecifes coralinos emergentes.

Dentro de un esquema general, las formaciones coralinas arrecifales se desarrollan en mares someros, de aguas limpias, agitadas y cálidas.

Aunque en la imagen paisajística de estos entornos geográficos, la presencia de los alóctonos cocoteros, normalmente introducidos por el hombre, suele desempeñar un papel importante, en los procesos de desarrollo de las formaciones coralinas del Caribe, son decisivas dos tipos de colonizaciones vegetales, sin descartar otras:

- la de los manglares, y, en menor medida la de los uveros, en la orilla, y
- la de las Fanerógamas marinas y de las macroalgas, en las plataformas insulares.

Por estas colonizaciones, se retienen los sedimentos de la erosión de los propios cayos, y/o de los arrecifes circundantes. De esta manera:

- se impide la formación de turbideces, que podrían interferir el normal crecimiento de las riquísimas formaciones coralinas próximas, y
- se propiciaría la conquista del medio marino, como una respuesta física de este proceso de atrapamiento sedimentario.

Determinadas intervenciones en el litoral, tanto en el de los cayos como en el continental, pueden hacer que cambien algunos de los anteriores condicionantes, indispensables para el desarrollo de los corales. Esto conlleva

ría el hipotecamiento, a nivel local, de unos de los tipos de “formaciones sedimentarias organógenas”. Ejemplos de estas actuaciones serían:

- La construcción y uso de un puerto-isla.
- Los vertidos masivos al mar.
- La destrucción de praderas próximas de macro-algas y de Fanerógamas marinas.
- La tala intensiva de bosques litorales y de manglares, y/o la degradación de estos, por actividades del hombre. Estas actuaciones provocan la erosión del sustrato litológico y el aporte de materiales hacia el mar arrecifal, que aumenta su turbidez.
- Y otros.

f). Como prueba de las repercusiones de **presiones ambientales**, lo que en cierta medida ratifica muchos de los puntos, hasta ahora abordados, están los acontecimientos del 21 al 25 de enero de 1996.

Respecto a estos episodios, conforme con la documentación que obra en poder de la *Comisión Permanente del Ambiente y Ordenación Territorial del Senado* (Congreso de la República de Venezuela), se describieron los siguientes hechos:

- El área afectada fue de Paiclas a Cayo Sombrero, y cubrió una distancia aproximada de unos 20 kilómetros.
- Tuvo lugar una mortandad general de especies marinas (peces, quiguas, erizos, langostas, pulpos y esponjas).
- Aparecieron desprendimientos de Octocorales (corales blandos), y de corales en general. Es la primera vez que se observa la mortandad, por lo menos en grandes cantidades, de corales blandos y de esponjas para el Sur del Caribe, y, por consiguiente, en las costas de Venezuela.
- Se evidenció cambios de color en los corales de fuego, con una apreciable disminución de sus células urticantes características.
- Se observó la presencia de un mucus de color blanco en el mar, que recubría a los organismos afectados.
- Se evidenció cambios en los vientos y en las corrientes marinas del sector.

Después de una serie de discusiones de tanteo, se llegaron a las siguientes conclusiones, referentes a estos acontecimientos:

- Se presume que los corales, en general, estuvieron expuestos a un gran “stress”, que originó una pérdida de sus tejidos, y esto se manifestó en los blancos de mucus, que flotaban en la superficie del agua.
- El fenómeno tuvo un rango de cero a quince metros de profundidad, con lo que afectó tanto a los arrecifes de aguas someras como a los de aguas profundas.
- Se podría manejar la hipótesis de aumentos de nutrientes en el agua, que provocaron la proliferación de micro-algas (de Diatomeas, por ejemplo).
- La mortandad habría sido causada por un agente tóxico, de origen antropogénico, y/o por una alteración de las características físico-químicas de la columna de agua (cambios en el pH, en el oxígeno disuelto o en la salinidad). Estas alteraciones pudieron haber sido provocadas por una alta concentración de plancton y/o por una masa de agua de salinidad menor, que penetró en el Parque Nacional de Morrocoy.

Otra interpretación de causas desencadenantes de las degradaciones descritas, en cierta manera complementaria y convergente con las anteriores, se basa en un uso intensivo del territorio, como recurso turístico-recreacional. Los acontecimientos ocurrieron inmediatamente después del periodo vacacional de Navidades. Esto no quiere decir que la responsabilidad directa recaiga en un sólo usufructo, en una época concreta, del territorio. En realidad, los procesos y efectos degradantes hay que buscarlos en “acumulaciones de dosis”, de diversas índoles. Estas acumulaciones, por separado, no serían peligrosas, pero que, con el transcurso del tiempo, se puede llegar a un umbral crítico, de no tolerancia.

Además, cabe preguntarse si los cambios en los vientos y en las corrientes marinas, que precedieron y coincidieron con las manifestaciones de las degradaciones, en lugar de representar vectores de transmisión de causas externas, ¿no pudieron constituir un bloqueo a la evacuación de agentes procedentes del entorno?, por ejemplo, ¿de los nutrientes de las aguas servidas (residuales urbanas), que llegan al medio marino próximo, procedentes del acuífero litoral, contaminado por los pozos sépticos, de fondos abiertos?.

g). Desde un marco **paisajístico**, donde la contribución de la Geomorfología Ambiental resulta decisiva, el escenario “terrestre” representa, asimismo, un recurso de esparcimiento. Unas primeras consideraciones al respecto serían las siguientes:

A ambos lados de la carretera, en casi su tramo medio, hay miradores, reales y potenciales. Desde estos puntos singulares de observación, se pueden identificar y describir cuencas paisajísticas:

- abiertas en el sector septentrional, y
- cerradas, con un fondo escénico (el Cerro de Chichiriviche), en el sector meridional.

Otros miradores cabrían ubicarlos en el margen occidental del “sistema”, junto al cruce, pero ya en la vía hacia Tucuyo. Ahora, el fondo escénico, hacia el Este, estaría constituido por unas pantalla de vegetación natural (manglares, que definen planos próximos - intermedios de profundidades, y cocoteros en planos terminales). Ciertamente, se podría clasificar esta otra cuenca paisajística como cerrada, donde las habituales barreras topográficas están sustituidas por “barreras” de vegetación, que permiten, a su vez, delimitar el espacio visual en franjas concéntricas. Tal sectorización de espacios geográficos es una fase procedimental, sumamente necesaria en la estimación de calidades e impactos, ambientales en sus aspectos generales, o paisajísticos en particular.

En la medida de la calidad paisajística, del ambiente de Las Salinas, toman especial interés dos parámetros, de la arquitectura del feno-sistema:

- El cromatismo relativamente “estático” (agua, cielo y vegetación), en una fuerte interacción con el cromatismo “dinámico”, dependiente de las numerosas aves, y, en mucha menor medida, de las nubes. Se puede pensar que “en Venezuela, hasta las nubes son diferentes, más bellas”.
- Y en la rareza biológica, con especial énfasis en su avifauna, con todo su potencial de biodiversidad.

Desde los miradores, aquí denominados “septentrionales”, se pueden cartografiar calidades del paisaje, en cuencas visuales, donde los valores más altos dependen, en relación directa, con los contenidos ornífticos.

Además, habría, en estos paisajes, un coeficiente de rareza, también conforme con los contenidos en aves, que afectaría muy sensiblemente, al alza, al conjunto de las estimaciones, para el cálculo de calidades.

Por otra parte, Las Salinas representan un buen ejemplo de cambios estacionales del paisaje. Se pueden apreciar dos periodos significativos:

- **Paisaje invernal** (diciembre - marzo). Los espejos de agua alcanzan los máximos desarrollos. La presencia de las “aves coloristas” se hacen más patentes. La “animación” faunística hace su máxima eclosión en el escenario geográfico. Los contrastes cromáticos entre “aves coloristas”, los azules de los cuerpos de agua y del cielo, los verdes de la vegetación y los blancos ocasionales de las nubes, en formas caprichosas, toman llamativas relevancias. El usufructo del paisaje adquiere su mayor potencialidad.
- **Paisaje estival** (en torno a julio - septiembre). Los espejos de agua llegan a cuerpos relécticos. Las poblaciones de “aves coloristas” se reducen a sus mínimas expresiones. La “animación” faunística decae en mucho. Desciende el protagonismo de los contrastes cromáticos, por la disminución de las aves de vivos colores. El “gran público” pierde interés por el usufructo del paisaje.

#### 4. Conclusiones.

De este ejemplo, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. El “sistema” de Chichiriviche es un escenario sensible a los cambios físicos-químicos potenciales, o reales, y se afectarían, o se afectan, entre otros, procesos, efectos y características:
  - de la Geomorfología Ambiental, donde se incluyen las formaciones coralinas, los transportes y deposiciones de sedimentos marinos y continentales, los acuíferos, las lodificaciones por aguas servidas (residuales) urbanas, con sus consecuencias, etc.
  - de los manglares,
  - de las biocenosis marinas,
  - y de los hábitats de aves migratorias.

Con estos cambios, se ha llegado a situaciones de degradación.

Inicialmente, el Golfete es el ambiente más perturbado. En este ecosistema, los efectos más significativos, de las intervenciones antrópicas, serían:

- Destrucción de comunidades de vegetales.
- Creación de situaciones de anoxia, por descomposición de la vegetación subacuática. Ésta desaparecería como respuesta a interferencias en los procesos de fotosíntesis.
- Y caída de la capacidad de impedir la turbidez, por la vegetación subacuática, ante la llegada de aportes de áridos del entorno emergido, y a consecuencia de removilizaciones y de suspensiones de finos (limos y arcillas). La turbidez se expandiría hacia el mar abierto, durante los procesos de vaciado, por los cambios cíclicos de las mareas.

2. Se observa fácilmente las interdependencias:

- entre Geomorfología Ambiental y los otros componentes del medio,
- entre los conjuntos de componentes de un medio,
- y entre las distintas unidades ambientales del sistema.

3. Las situaciones de anoxia provocarían, y provocan, muertes propagantes, hacia la Laguna y Las Salinas, de peces, y con ello, una disminución de disponibilidades de alimentación, de las aves ictiófagas.

4. Muchas de estas aves, que son migratorias, y que enriquecen la biodiversidad del sistema, se verían obligadas a buscar otras áreas de “dormitorios” y de “hibernadas”. Evidentemente, se establece una relación directa entre la capacidad de acogida de aves migratorias y sus disponibilidades de alimentación, en este caso, los peces.

Esto conlleva a una pérdida de calidad natural del conjunto del sistema, y se atentaría a las reservas de recursos científicos, recreativos y turístico-vacacionales.

5. La propagación de la turbidez, de los finos, hacia mar abierto, interferiría el normal desarrollo de los arrecifes coralinos, que determinan bajos fondos y la formación y desarrollo de cayos. Los arrecifes se verían en condiciones desfavorables para su crecimiento, y se ha llegado a casos de muerte de estas comunidades, con todas sus consecuencias. A la larga, se crearían problemas en los propios cayos. Éstos son una consecuencia de la acción de la geodinámica, a partir de la actividad biológica de los corales, como fuente de formación de un tipo de rocas organógenas.

Nuevamente, se detecta, con mucha claridad, la integración de la Geomorfología Ambiental, en el equilibrio ecológico de un sistema.

6. El desarrollo urbano debe quedar bloqueado, en cuanto a su expansión, y optimizado en relación con servicios de infra-estructuras, sobre todo de las aguas residuales. De esta manera:

- Se mantendría la calidad paisajística del sistema, sin sensibles elementos que produjeran impactos periféricos.
- Y se eliminaría los aportes de contaminantes, que degrada al conjunto del sistema.

7. El “sistema” encierra cuencas paisajísticas, desde estratégicos miradores, que suponen buenos recursos de explotación recreacional - turístico, sobre todo con carácter estacional.

Conforme con todo lo anterior, hay que ser muy precavidos con la redacción y explotación de proyectos, que, por cualquier causa, rompa el equilibrio de un “sistema”, como el que se ha descrito, dentro del Parque Nacional de Morrocoy. Por ejemplo, muy desaconsejable sería la instalación y explotación de una camaronera, cuyas aguas de mantenimiento, ricas en nutrientes, descargaran en el Golfete o en el Humedal.

## C A P Í T U L O 3

# *La Cartografía en la Geomorfología Ambiental*

### E S Q U E M A :

1. Modalidades de mapas.
2. Los mapas temáticos.
3. Representación de la información.
4. Ejemplos de aplicaciones cartográficas.

### 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 de Geología Regional, para delimitar áreas de riesgos.

El anterior autor, desde un mapa de Geología Regional deriva otro morfodinámico, que permite llegar:

- por una parte, a uno, muy provisional, de áreas de desarrollo y de no desarrollo, según consideraciones de riesgos naturales geomorfológicos, como un producto subfinal,
- y por otra, a otro de morfodinámica de detalle.

El mapa morfodinámico de detalle es el soporte para la confección de una cartografía de análisis de riesgos, ya con rigor, que pasa, en la siguiente abstracción, a mapas de usos. De los mapas de usos, se obtienen, como productos finales, ciertamente válidos en la planificación y manejo de un territorio, aunque sólo desde una perspectiva geomorfológica:

- mapas de áreas de desarrollo, y
- mapas de áreas de no desarrollo.

Más correctamente, los mapas de usos y recomendaciones deben generarse de un conjunto de mapas temáticos.

Las propuestas de usos y recomendaciones son útiles cuando dan lugar a un documento:

- susceptible de ser asumido por la Administración,
- y que represente una alternativa real a la situación actual.

Todo esto no significa que los usos y recomendaciones tengan que ajustarse a una planificación legal al uso. En este sentido, tendrían una cierta dosis de crítica, respecto a las leyes y normas vigentes.

## 2. Los Mapas Temáticos

Los mapas descriptivos, en principio, abarcarían las siguientes temáticas:

- Zonas y límites significativos, de acuerdo con textos legales (Ley de Costas, del Suelo, Ley de Conservación de Espacios Naturales, etc.).
- Clinometría.
- Caracterización topográfica del relieve, como respuestas a intervenciones antrópicas.
- Morfodinámica.
- Flora y fauna.
- Micro-climatología.
- Hidrología.
- Infra-estructuras, invariantes y núcleos de servicios en general (equipamientos).
- Paisaje.
- Delimitación de unidades ambientales.
- Yacimientos arqueológicos y patrimonio arquitectónico-histórico.
- Recursos potenciales en general.
- Utilización del territorio. Incluye la distribución de las densidades de usos.
- Tejido (o estructura) agrícola.
- Demografía.
- Tipología edificatoria del hábitat humano.
- Tipologías edificatorias agropecuarias y de naves industriales.
- Impactos en general, con sus áreas de influencia.
- Calidades naturales y medio-ambientales.

Este inventario es muy genérico, y no queda agotado. En realidad, se hará una selección de los mismos, y/o se introducirán otros, de forma tal que el conjunto de mapas permita la obtención de un estudio. En consecuencia, el inventario estará matizado por su escenario geográfico, y tenderá a describir el realismo ambiental, político y económico.

Las escalas de las distintas variables que se utilicen deben ser óptimas para la toma de decisiones, conforme con las categorías de las soluciones.

Algunos de los epígrafes reseñados quizás precisen ciertas aclaraciones, en relación con sus contenidos y manera de cartografiarlos. Al efecto, se desarrollan los siguientes sub-apartados:

### **Zonas y límites significativos, de acuerdo con textos legales:**

Conforme con la Ley española de Costas (Ley 22/1988, de 28 de julio, BOE del 29 de julio, páginas 23368 - 23401), se establecen las siguientes zonas y límites:

#### **1. Zonas de dominio público.**

Tienen las implicaciones legales de llevar la calificación de “*dominio público*”. Se pueden individualizar, en la cartografía, seis tipos de escenarios principales, aparte de otros:

- **El mar territorial.**
- **Las aguas interiores.**  
Estas aguas son las que se delimitan mediante poligonales, trazadas desde extremos de promontorios. La zona comprende su lecho y subsuelo.
- **Los islotes e islas menores.**  
Estas porciones de terrenos son las que se encuentran en mares territoriales, aguas interiores, o en los ríos, hasta donde se sientan las mareas.

En la cartografía de esta zona “insular”, se deben diferenciar aquellas islas, o islotes, que no participan del dominio público (las de propiedad particular, o de entidades públicas, o los territorios que procedan de la desmembración de estos espacios).

Sin embargo, en la cartografía de los islotes e islas, de propiedad privada, se indicarían y delimitarían los sectores de dominio público, como son sus posibles fachadas acantiladas subverticales, playas y otros ambientes marino-terrestres.

**- Zona marítimo-terrestre de la ribera del mar y de las rías.**

Abarca el espacio comprendido entre la línea de bajamar escorada, o máxima viva equinoccial, y el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos o, cuando lo supera, el de la línea de pleamar máxima viva equinoccial. Esta zona se extiende también por los márgenes de los ríos, hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas.

Se consideran incluidas, en esta zona, las marismas, albuferas, marjales, esteros y, en general, los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua del mar.

**- Zona de playas y de dunas litorales de la ribera del mar y de las rías.**

Están formadas por los áridos transportados y depositados por la acción del mar, del viento marino, o por otras causas naturales o artificiales.

**- Fachadas de acantilados.**

Los acantilados afectados deben presentar una sensible verticalidad, y tener contacto con el mar, o con espacios de dominio público marítimo-terrestre.

Las zonas quedan definidas por límites externos (pies de los contactos) y otros internos, que los marcan sus coronaciones.

**2. Zonas de servidumbre de protección, de servidumbre de tránsito y de servidumbre de acceso al mar.**

Las servidumbres de protección recaen sobre zonas de 100 metros de amplitud, medidas tierra adentro, desde los límites internos de la ribera del mar.

Las extensiones de estas zonas podrán ser ampliadas por la Administración del Estado, de acuerdo con las de las comunidades autónomas y ayuntamientos correspondientes, hasta un máximo de otros 100 metros, cuando las circunstancias lo requieran, para asegurar la efectividad de la servidumbre, en atención a las particularidades de los tramos de litoral de que se traten.

Estas zonas se solapan con las de tránsito y de acceso al mar. En conjunto, se pueden cartografiar, desde el exterior al interior:

**- Zonas globales de servidumbre.**

Abarcan franjas de 100 a 200 metros de amplitud, con límites externos donde termina la ribera del mar.

**- Zonas de servidumbre de tránsito.**

Definen franjas de 6 metros de amplitud, medidas, tierra adentro, a partir de los límites interiores de la ribera del mar.

En lugares de tránsito difícil, o peligro, podrán ampliarse en lo que resulte necesario, hasta un máximo de 20 metros.

Los usos de estas zonas se contemplan en el Artículo 27 de la Ley de Costas.

**- Zonas de no ocupación.**

Comprenden los 20 primeros metros de las zonas de servidumbre. Obviamente, incluyen las zonas de servidumbre de tránsito.

Sus usos están regidos por el Artículo 24 de la Ley de Costas.

**- Zonas de intervenciones restringidas.**

Se extienden a partir de los límites internos de las zonas de los 20 metros, hasta los límites asimétricos internos de las zonas globales de servidumbre.

Las actividades que podrían soportar se recogen en el Artículo 25 de la Ley de Costas.

**- Zonas de servidumbre de acceso al mar.**

Estas otras zonas se localizan, o se deberían localizar, sobre los terrenos colindantes, o contiguos, al dominio público marítimo terrestre.

A excepción de los espacios calificados como de especial protección, y referentes a zonas urbanas y urbanizables:

- a). Los accesos de tráfico rodado estarán espaciados entre sí, como máximo, 500 metros.
- b). Y los peatonales, 200 metros.

La regulación de estos accesos se encuentra en el Artículo 28 de la Ley de Costas.

### 3. Zonas de influencia.

La ley de Costas posibilita cartografiar zonas de influencia, cuyas anchuras mínimas serán de unos 500 metros, desde el límite interior de la ribera del mar. Es decir, estas zonas encierran a todas las demás descritas.

Las actuaciones, desde el límite interno de las zonas de intervenciones restringidas, respetarán las exigencias de protección del dominio público marítimo-terrestre, según una serie de criterios, especificados en el Artículo 30.

### 4. Límites significativos.

De acuerdo con todo lo anterior, en un mapa topográfico de base, y a partir del límite interno del dominio público marítimo-terrestre, se pueden trazar los siguientes límites significativos, de forma genérica, y revisables en algunos casos:

- límite de los 6 metros,
- límite de los 20 metros,
- límite de los 100 metros, y
- límite de los 500 metros.

### *Clinometría:*

Los mapas clinométricos son aquellos donde se caracteriza la topográfica original, pero dando especial énfasis a la representación de las pendientes.

### *Morfodinámica:*

La cartografía morfodinámica configura categorías sistematizadas de porciones del territorio, de acuerdo con criterios geomorfológicos - geológicos, a modo de arranque, para delimitaciones previas de unidades ambientales, y de sistemas de estas unidades.

Tales delimitaciones de arranque se reajustarán, en otras fases de la abstracción cartográfica, a partir de la convergencia de otras descripciones (físicas, químicas, biológicas, antropogenéticas y/o paisajísticas).

### *Flora y fauna:*

Se representan las distribuciones, con sus abundancias:

- tanto de las comunidades identificables,
- como de las especies de las distintas poblaciones, que definen a las comunidades,

en los periodos significativos de un año estadístico, al objeto de cartografiar riquezas bióticas y estados de explotación.

Esto permitirá calcular, posteriormente, coeficientes espaciales y temporales específicos, de la unidad ambiental en cuestión.

En cuerpos de biocenosis, donde la potencia tenga su importancia, por ejemplo, en los manglares, lagunas costeras, aguas de bahías y mares en general, estas representaciones, de las distribuciones y abundancias, se pueden hacer a distintas profundidades. De esta manera, se obtienen **mapas bionómicos tridimensionales**.

### *Micro-climatología:*

Entre otras cosas, las descripciones micro-climáticas se plasman en mapas, donde quedan representados los sectores::

- de solanas,
- de umbrías,

- expuestos a vientos dominantes, y
- resguardados de esos vientos.

En la preparación de estos mapas, se precisan, sobre representaciones topográficos tridimensionales:

- Trazar la trayectoria del Sol. Entonces se está en condiciones de identificar las solanas y las umbrías.
- Y sobre-imponer la rosa de los vientos.

En general, si se trabaja sobre mapas topográficos bidimensionales, entre las curvas de nivel, se tiende a oscurecer las vertientes de las aguas superficiales de una misma orientación, las más umbrías.

Estos mapas tienen interés a la hora:

- de recomendar determinados usos (agrícolas, por ejemplo), o
- de proyectar.

Sea el caso muy sencillo de proyectar un edificio, con planta en “L”, destinado a la industria hostelera. Este se construiría en una zona de solana, y la abertura de la “L”, donde se ubicarían las piscinas, estaría orientada de forma tal, que recibiera la máxima insolación, al mismo tiempo que se hallara protegida de los vientos dominantes.

### **Hidrología:**

La hidrología de superficie se describe, en mapas topográficos de base, dibujando:

- las divisorias de agua, y
- los cauces, con sus jerarquizaciones.

Sobre los cauces, se indicarían, mediante un simbolismo adecuado, sus peculiaridades:

- tipos de dependencias (fluvial, nival o mixto),
- temporalidades estadísticas de sus aguas (permanente, estacional u ocasional),
- y rasgos geomorfológicos (características geométricas de sus perfiles transversales y longitudinales).

En un posterior ejercicio:

- Se llegaría a clasificaciones geomorfológicas de las aguas encauzadas.
- Y las redes hidrológicas, descritas en los mapas topográficos, se sobre-impondrían a mapas geológicos, a fin de establecer dependencias con las litologías recorridas, y obtener otras deducciones.

### **Invariantes:**

Las invariantes se refieren a aquellos elementos, introducidos por el hombre, que no se pueden quitar, por sus envergaduras, a efectos de proyectar. Por ejemplo: tendidos eléctricos de alta tensión, autopistas, grandes presas, etc.

No obstante, en determinadas circunstancias, algunas invariantes se pueden poner en crisis.

### **Paisaje:**

En la cartografía descriptiva del paisaje, se delimitarían las cuencas visuales:

- Desde puntos singulares de observación, por lo general, a cotas altas, respecto al entorno geográfico envolvente. Suelen coincidir con los clásicos miradores de paisajes.
- Y desde recorridos usuales.

Las pantallas o pantallas topográficas y/o boscosas, según los casos, y en muchas ocasiones, constituirían unos elementos decisivos, en estas configuraciones.

Una cuenca paisajística, desde un punto singular de observación, llegaría hasta donde se interrumpen las visuales del observador. Cuando no existen barreras, estas interrupciones se darían en el infinito.

En una posterior abstracción, en estos mapas de cuencas visuales se indicarían:

- los componentes arquitectónicos del paisaje, por separado o en conjunto,
- los diagramas de flujo, entre estos componentes,
- mediciones de calidades, conforme con la arquitectura del paisaje,
- y donde se encontrarían los impactos paisajísticos, con sus áreas espaciales y temporales de influencia.

### ***Delimitación de unidades ambientales:***

Dentro de un mapa topográfico de base, de un territorio en estudio, se representan las distintas unidades ambientales. Estas unidades se podrían encontrar formando sistemas.

Se entiende por unidad ambiental a una porción de territorio delimitado por barreras físicas, naturales o artificiales:

- que presenta unas características climáticas determinadas, con un posible gradiente continuo,
- en el que tienen lugar unos procesos y efectos físicos propios,
- en el que se asientan un conjunto de individuos pertenecientes a diversas especies,
- y donde se establecen una serie de interacciones, con dinámicas propias, entre los organismos y el medio.

Las unidades ambientales se individualizan, en una primera aproximación, por consideraciones morfodinámicas, aunque en ciertos casos será necesario recurrir:

- a los límites de las cuencas visuales del paisaje,
- a los contenidos biológicos,
- a las transformaciones inducidas por el hombre, por ejemplo, la existencia de determinadas invariantes significativas, que representen barreras,
- o a otros rasgos del territorio.

### ***Tejido agrícola:***

El tejido agrícola se podría definir como el conjunto de componentes de un territorio, destinado al usufructo agropecuario:

- tanto de sustentación física, con sus obras de adaptación-optimización y de servicios,
- como socioeconómicos, que incluyen las peculiaridades y modos de explotación.

Al efecto, este tejido se podría desglosar en los siguientes aspecto cartografiables:

- delimitaciones de los parcelamientos, que pueden ser grandes, medianos o pequeños,
- modalidades de cultivos (a cielo abierto o cubiertos),
- tipos de propiedad (minifundios y latifundios),
- cultivos abandonados y suelo espectante, sin ocupación urbana,
- distribución de las propiedades, conforme a estratos sociales,
- obras subsidiarias en la preparación del terreno, como la construcción de bancales,
- red de regadíos,
- red de caminos,
- parcelas que soportan unas determinadas técnicas agrícolas,
- ubicación y características de las viviendas, implicadas en las explotaciones (habitat humano rural), y
- elementos agropecuarios, que intervienen en la arquitectura del paisaje,

En coincidencia con todo esto, Molinero (1990), entiende el tejido agrícola, en términos geográficos:

- como una correspondencia “entre la forma de propiedad y la explotación agraria de la tierra,
- que se concretan en los regímenes de tenencia (relaciones entre la propiedad y la explotación),
- y que son la traducción directa de la organización que esté vigente.

### **Demografía:**

Básicamente se aborda:

- Distribución de la dinámica demográfica fija, a determinadas escalas de tiempos.
- Distribución de la población estacional.
- Estructura social de la población.
- Estructura del empleo.

### **Tipología edificatoria del hábitat humano:**

Los mapas descriptivos de tipologías edificatorias abarcan a los parques de viviendas, y núcleos urbanos. En estos mapas se recogen, entre otras cosas:

- Las ubicaciones de distintas modalidades de los volúmenes edificados.
- Las distribuciones de las edificaciones según diferentes técnicas de construcción (casas de adobe, de ladrillo, de cantería, etc.).
- La distribución de las edificaciones, de acuerdo con los elementos ornamentales y las formas de diseño de los volúmenes, que permitirán un posterior análisis de la carga cultural-artística que conllevan.
- Las distribuciones, y densidades de ocupación, en el espacio físico, de los volúmenes en cuestión. Aquí se considera si se trata de una tipología rural o urbana.
- Las localizaciones de las edificaciones, conforme sus idoneidades y funcionalidades, en relación con la realidad de los entornos físicos.
- Los grados de tenencia y alquiler.
- Y las autonomías y dependencias de los núcleos urbanos.

Un primer inventario, en cuanto a modalidades de volúmenes, con sus distribuciones espaciales y funcionalidades habitacionales, o vinculaciones con estratos sociales, sería:

- Polígonos de viviendas, de promoción pública.
- Viviendas colectivas en bloques, dentro de urbanizaciones, de promoción privada, pero con subvenciones de algunas de las administraciones (viviendas de protección oficial).
- Viviendas colectivas en bloques, dentro de urbanizaciones, de promoción privada, no subvencionadas.
- Viviendas-apartamentos en bloques, de promoción privada, no subvencionadas, para una segunda residencia.
- Viviendas unifamiliares aisladas, de promoción privada, para una primera residencia.
- Viviendas unifamiliares aisladas, de promoción privada, para una segunda residencia.
- Casas solariegas,
- Chalés adosados, de promoción privada, para una primera residencia.
- Chalés adosados, de promoción privada, para una segunda residencia.
- Viviendas unifamiliares clandestinas, aisladas o adosadas, para una primera residencia.
- Viviendas unifamiliares clandestinas, aisladas o adosadas, para una segunda residencia.

Entre los elementos ornamentales, se podrían referenciar, a título de ejemplos, entre otros, los siguientes:

- zócalos,
- ménsulas,
- bordes de cantería, en ventanas y puertas,
- dinteles sobre puertas y/o ventanas,
- rejados de ventanas y/o puertas,
- coronaciones de rejados,
- almohadillados,
- cornisas,
- crujías, y
- encalamientos y coloraciones de las fachadas.

Entre las formas de diseño de los volúmenes, hay muchísimas posibilidades. Unos pocos ejemplos, algunos compatibles entre sí, serían:

- culminaciones en “terrao”, con o sin capturas de agua fluvial, para alimentar a aljibes,
- tejados de una sólo agua,
- tejados a dos aguas,
- tejados a cuatro aguas,
- patios delanteros,
- patios centrales, y
- porches.

Dentro de las “formas de diseño” entrarían las diposiciones de las plantas.

Los elemetos ornamentales y las formas de diseño traducen, en muchas ocasiones, flujos culturales:

- unidireccionales,
- polidireccionales,
- de dobles sentidos,

sin descartar reflujos.

### ***Tipologías edificatorias agropecuarias y de naves industriales:***

En esta cartografía, se aplican muchos de los conceptos que se han expuestos en el epígrafe anterior. Sin embargo, aquí toma especial énfasis la ubicación de:

- diferentes modalidades de viviendas de labriegos y jornaleros, como podrían ser las masías y las barracas habitacionales, en el Delta del Ebro (Cataluña, España),
- y las edificaciones de almacenamiento de aperos, de cosechas y de refugio.

Sin excluir a otras modalidades de construcciones, como las industriales, con estas dos tipologías edificatorias se podrían establecer, en análisis posteriores:

- secuencias generacionales en el tiempo, y
- relaciones de diacronismo, sincronismo y anacronismo, que permitirían deducir, en ocasiones, fuertes dependencias socioeconómicas.

Pero además, todos los aspectos descritos de las tipologías edificatorias, independientemente de sus clasificaciones, influyen en la morfología fisiográfica de sus entornos.

### **3. 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.

### **4. Ejemplos de Aplicaciones Cartográficas**

El levantamiento de diferentes modalidades de cartografías se puede ejemplificar 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 cómo 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 efectos 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, aquéllas 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, receptoras 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.

## C A P I T U L O 4

*La Cartografía Morfodinámica*

## E S Q U E M A :

1. Concepto e interés de la cartografía morfodinámica.
2. Caracterización de la cartografía morfodinámica.
3. Pautas para la configuración morfodinámica del litoral, en determinados escenarios ilustrativos.
4. La cartografía morfodinámica a partir de programas informáticos.

**1. Concepto e interés de la Cartografía Morfodinámica**

El conocimiento, comprensión y seguimiento de los procesos físicos en el litoral, o en cualquier territorio, quedan recogidos, en gran medida, en sus mapas morfodinámicos.

Por otra parte, estos mapas se precisan en la ordenación, planificación y gestión de una unidad ambiental, de acuerdo con numerosos autores: Ferguson (1974), Brown et al. (1976), Spangle (1976), Robinson y Spieker (1978), Craig y Craft (1982), Díaz de Terán (1983 y 1985), Trilla (1985), Cendrero et al. (1986) y Cendrero (1987), entre otros.

Obviamente, la mejor cartografía morfodinámica descriptiva, e incluso de cualificación, es la que proporciona un mapa geológico sobre otro topográfico. Sin embargo, aquí se desarrolla una cartografía de interpretación sencilla y rápida, que permita una previa estimación de conjunto, a escalas inapropiadas para observaciones topográficas significativas.

La cartografía que se desarrolla en este capítulo:

**a). Tiene:**

- una fuerte componente de aproximación analítica, ya que trata de un tema en concreto, y
- otra componente de integración, en cuanto que la morfodinámica abarca una serie de categorías cartografiables, que se van a representar en un mismo mapa.

**b).** Se ejemplifica, dentro de escenarios de islas oceánicas. Sin embargo, se puede extrapolar a cualquier otro entorno geográfico, con la introducción de las debidas matizaciones.

**c).** Considera, prioritariamente, las zonas emergidas. No obstante, también se representan las características más generales de las sumergidas.

**d).** Y, además, se aplica, de forma inmediata, en la ordenación, planificación y manejo de un territorio, en dependencia con los diferentes criterios de optimización del mismo.

La **ordenación** de un territorio estima las calidades de sus unidades ambientales, en función de las cuales se planificará.

La planificación territorial resulta de un análisis tendente a identificar cuáles serían las posibles intervenciones sustentables, o usos equilibrados, que podría soportar una unidad ambiental. Aquí, se contempla la alternativa "cero", o de no intervención.

La gestión, o manejo, de un territorio, se basa, precisamente, en la toma de decisiones, a partir de una planificación. Puede ocurrir que, en esa "toma de decisiones" concurren consideraciones, o parámetros, socioeconómicos.

En este contexto de ordenación, planificación y manejo de un territorio, la utilización de la cartografía morfodinámica es muy necesaria, entre otros ejemplos, para:

- Delimitar y caracterizar fisiográficamente unidades ambientales, en relación con propuestas de recomendaciones y usos. En muy buena medida, el estudio del “**continente**”, que condiciona al “**contenido**”, se apoya en una morfodinámica. Y ambas cosas (continente y contenido) constituyen aspectos indispensables, en la estimación de las calidades, de los distintos sectores de un territorio, que sustentarán pertinentes recomendaciones y propuestas de usos.
- Identificar, delimitar y caracterizar geológicamente **zonas de riesgos**, respecto a determinados usos del terreno.
- Identificar y cuantificar la “**diversidad topográfica**”, y otros componentes, de la arquitectura de un paisaje rural.
- Y definir y delimitar fisiográficamente “**corredores**”, entre espacios protegidos, que permitan migraciones de comunidades vivientes. Estas migraciones garantizarían un intercambio “natural” de “biodiversidad”, que puede resultar ineludible, en el alcance de equilibrios en los ecosistemas “individualizados” de un “**sistema**”.

En un levantamiento de mapas morfodinámicos, normalmente se precisa de un material bastante sencillo. En principio, bastaría con las siguientes disponibilidades, o con una parte de estas:

- fotografías aéreas, para la observación estereoscópica,
- equipo para la observación estereoscópica,
- mapas topográficos,
- mapas geológicos,
- mapas batimétricos,
- útiles de dibujo, como lápices de colores y goma de borrar,
- equipo fotográfico,
- notas y documentación fotográfica de las observaciones de campo.

En algunas ocasiones, proporcionan un apoyo considerable disponer de datos geofísicos de los fondos litorales y de observaciones por teledetección

## 2. Caracterización de la Cartografía Morfodinámica

Bajo este epígrafe, se estudian los siguientes contenidos:

- Definición de las categorías morfodinámicas.
- Clasificación de las categorías morfodinámicas.
- Las categorías morfodinámicas válidas para islas oceánicas, con climas mesotérmicos subhúmedos.
- Criterios, siglas, grafismos y simbologías para el levantamiento de mapas morfodinámicos, en islas oceánicas, de climas mesotérmicos subhúmedos.

### 1. Definición de las categorías morfodinámicas.

A partir del modelo operativo descrito por Centeno et al. (1983) y Christian (1964), la cartografía morfodinámica se basa en categorías jerarquizadas e inter-independientes, según criterios:

- geológicos, enmarcados en la topografía,
- morfogenéticos, incluidos los procesos y efectos de erosión y de sedimentación, y
- evolutivos.

Genéticamente, y en relación con los diferentes dominios climáticos, los procesos y efectos morfodinámicos se clasifican en 8 tipos, a saber:

- estructurales,
- kársticos,
- fluviales,
- lacustres,
- de vertientes,
- eólicos,
- por las acciones del mar, y
- antropogenéticos: canteras, minas, escombreras, embalses, rellenos, vertidos de residuos sólidos, etc.

A su vez, los procesos y efectos genéticos de vertientes (piedemontes, revestimientos y los de laderas intermedias en general) se subdividen en:

- coluvial: de gravedad vertiente,
- eluvial: de alteración,
- aluvial: fluvial y/o de aguas de arroyada, y
- mixto: fluvio-coluvial.

Las categorías morfodinámicas, de menor a mayor rango, forman la siguiente secuencia:

- elementos de erosión (land elements),
- unidades morfodinámicas (land units),
- sistemas morfodinámicos (land systems),
- conjuntos geológicos, y/o
- provincias morfodinámicas.

**a). Elementos de erosión.**

Representan rasgos de detalle del relieve, labrados por procesos de erosión. Pueden:

- o determinar una categoría superior,
- o corresponder a elementos sobreimpuestos (generados independientemente de la unidad en la que se encuentran).

**b). Unidades morfodinámicas.**

Se tratan de unidades básicas, definidas por Centeno et al. (1983) como “porciones de terrenos configurados por unos elementos morfológicos propios, que son el reflejo de una génesis condicionada por factores y procesos comunes ...” Dado el carácter genético de las unidades, las morfologías convergentes, desde procesos distintos, no pertenecen a la misma unidad.

Pero además, las unidades morfodinámicas deben tener una dimensiones apropiadas, para configurar unidades ambientales, que permitan la ordenación, planificación y manejo del territorio en cuestión.

**c). Sistemas morfodinámicos.**

Forman conjuntos, a escala “regional”, de unidades morfodinámicas, que comporten algunos condicionantes, o características, significativas.

**d). Conjuntos geológicos.**

Se basan en las características de una Geología Regional, que sustentan a sistemas morfodinámicos. Estas características geológicas matizan a toda la cartografía morfodinámica.

**e). Provincias morfodinámicas.**

En algunos casos, y para la cartografía morfodinámica de un litoral, los conjuntos geológicos se pueden sustituir por, o quedar englobados en, provincias morfodinámicas, en el sentido de “unidad fisiográfica” de Enríquez y Berenguer (1986).

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 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.

En el conjunto de playas, de una provincia, se tiene que 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, morfoscópias 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 un litoral.

### 2. Clasificación de las categorías morfodinámicas.

Las diferentes categorías morfodinámicas se clasifican, por otra parte, en:

- funcionales, y
- disfuncionales.

Una categoría funcional está controlada por la dinámica actual. En cambio, las no funcionales describen una paleo-dinámica, que lleva sobre-impuesta otra actual, que no es todavía la determinante de la morfología significativa.

### 3. Las categorías morfodinámicas válidas para islas oceánicas, con climas mesotérmicos subhúmedos.

En las islas oceánicas, con climas mesotérmicos sub-húmedos (con unos parámetros meteorológicos próximos a los de Canarias), se pueden delimitar, con una cierta peculiaridad, las unidades, los sistemas morfodinámicos y los conjuntos geológicos. No obstante, estas delimitaciones se pueden extrapolar a otros escenarios geográficos, si se introducen las debidas modificaciones y/o matizaciones, y si se incluyen otras nuevas configuraciones. En realidad, aquí se pretende desarrollar una sistemática susceptible de aplicar a otros entornos, si se tiene la imaginación de una adecuada reconversión, conforme con “donde digo digo, digo Diego”.

#### 1. Unidades morfodinámicas.

El levantamiento de una cartografía morfodinámica, para los entornos en consideración, podría arrancar a partir del siguiente inventario de unidades:

- amplios glacis litorales - rasas,
- acantilados.
- las laderas intermedias,
- los valles transversales,
- los amplios valles perilitorales,
- las mesetas perilitorales.
- las grandes playas arenosas,
- los grandes depósitos eólicos de arenas, y
- las formaciones “deltaicas”, en dependencia con las desembocaduras de los barrancos,

Cuando hay caletas, estas representan, en planta, a configuraciones, que caracterizan al límite externo emergido de las unidades morfodinámicas. Estos contornos suelen representar:

- A formas mixtas, a causa de la acción del mar ante una morfología antecedente (las desembocaduras de los barrancos, entre otras).
- Y a una erosión diferencial del mar, por ejemplo, ante un acantilado de coladas lávicas con disyunción columnar.

Los **glacis litorales** se definen como llanuras extensas emergidas, en las proximidades de una orilla marina, con pendientes iguales o inferiores a un 5 %, hacia el mar, monogenéticas, o formadas por una convergencia poligenética.

Los factores poligenéticos pueden ser:

- la erosión (marina y/o continental),
- los depósitos locales de sedimentos aluviales, y/o
- las deposiciones de coladas de rocas volcánicas, o de materiales piroclásticos.

No se descartan que los glaciares litorales sean rasas, total o parcialmente.

En relación con determinados territorios, que podrían solaparse con los glaciares litorales, algunos planificadores y gestores introducen el término de **“hinterland”**. Conceptualmente se refiere a las tierras interiores, aledañas a la franja de playa, o a una formación de dunas litorales, entre el límite interno de estos ambientes sedimentarios y otro más o menos arbitrario, a no menos de 400 metros.

Su forma varía en cada caso, pero el criterio adoptado para su delimitación interna siempre considera:

- líneas marcadas por la topografía, o
- bordes artificiales, tales como caminos y carreteras.

Se entiende por **acantilados** unos resaltes emergidos del litoral, formados por la erosión marina. Estos relieves tienen:

- alturas variables, y
- fuertes pendientes, en principio superiores al 100 %, que pueden llegar a la posición vertical, o hasta situaciones de contra-pendientes.

Morfodinámicamente, una clasificación complementaria, utilizable tanto para los acantilados como para las laderas intermedias, comprendería los siguientes apartados:

**a).** Respecto a la competencia - incompetencia de los materiales:

- Relieves resistentes. El modelado afecta a rocas “duras”, que caracterizan a toda la topografía.
- Relieves fácilmente erosionables. El modelado tiene lugar en rocas “blandas”.
- Relieves mixtos. Se pueden describir dos tipos:
  - \* Tipo a: Tramo blando sobre otro duro, de una potencia significativa y afectado por la acción erosiva del mar
  - \* Tipo b: Tramo duro sobre otro blando, que tiene, asimismo, un espesor significativo, y que está afectado por la erosión marina.

**b).** De acuerdo con la disposición de las capas (estratos o coladas lávicas), en relación con la superficie topográfica:

- En concordancia estructural. El sentido de la pendiente de las capas coincide con el de la superficie topográfica. El relieve tiende a pendientes suaves.
- En discordancia estructural. El sentido de la pendiente de las capas es opuesto a la de la superficie topográfica. El relieve tiende a pendientes fuertes.
- Acordantes. Se disponen capas verticales cortadas por la superficie topográfica. El relieve tiende también a una pendiente fuerte.

**c).** Según criterios dinámicos:

- Relieves estables, o estáticos, a corto plazo.
- Relieves inestables, por desprendimientos, por deslizamientos, por movimientos de flujo, y/o por mecanismos diversos.

**d).** Conforme con la etapa genética:

- Relieves activos, o funcionales.
- Relieves inactivos o disfuncionales (paleo-formas).

Si se admite el Modelo de la Cuña de Erosión, de Suárez Bores (1980), y en el supuesto de que el litoral no esté sometido a cambios del nivel del mar, los acantilados actuales se calificarían como:

- Hipocríticos. Son susceptibles de retroceder.
- Hipercríticos. Han llegado a máximos retrocesos, hacia tierra adentro.

Las cortadas (frentes de trapps o de andenes) dependen de controles litológicos - estructurales y dinámicos de relieves emergidos. Aunque morfológicamente convergen, a grandes rasgos, con los acantilados de la erosión del mar, por criterios genéticos, que son esenciales en la cartografía morfodinámica, corresponden a unidades diferenciadas, independientemente de que se sucedan, en el espacio, en una misma vertiente litoral.

Una sucesión de cortadas, entre porciones de laderas intermedias intraformacionales, o franjas horizontales o subhorizontales, regularizadas, próximas y más o menos equidistantes en la proyección horizontal, dentro de una topografía global de laderas intermedias, define un relieve peculiar. El conjunto se puede considerar como una sola unidad de ladera intermedia.

Las caracterizaciones peculiares se deben tener en cuenta en la cualificación del paisaje y en los usos de un territorio.

Las laderas intermedias corresponden a las situaciones de transición, respecto a la pendiente topográfica, entre acantilados y superficies próximas a la horizontalidad (glacis litorales y plataformas costeras).

Las **laderas intermedias** se han podido formar por causas diversas, lo que da lugar a una clasificación genética de las mismas. En principio, pueden intervenir, entre otros, los siguientes procesos:

- desarrollo de piedemontes,
- apilamientos, topográficamente regularizados, de coladas en trapps,
- sucesión, de techo a muro, de una regularización topográfica de laderas en trapps y de desarrollos de piedemontes,
- erosión areolar, y
- acción erosiva del mar.

Estas laderas, a partir de los criterios de Díaz de Terán (1983) y Cendrero (1987), aunque modificados, se clasifican en:

- **lomas:** pendientes entre 5 y 15 %,
- **colinas:** pendientes entre 15 y 50 %, y
- **laderas abruptas:** pendientes entre 55 y 100 %.

Para los arquitectos, la pendiente óptima, en relación con la edificación, no debe rebasar el 15 %. Por eso, se considera este valor como uno de los delimitantes, en la clasificación de las laderas intermedias.

Rodríguez (1990), clasifica las laderas en:

- zonas llanas: inclinación entre 0 y 3 %,
- zonas con pendientes muy suaves: inclinación entre 3 y 5 %,
- zonas con pendientes suaves: inclinación entre 5 y 10 %,
- zonas con pendientes moderadas: inclinación entre 10 y 20 %,
- zonas con pendientes fuertes: inclinación entre 20 y 30 %,
- zonas con pendientes muy fuertes: inclinación entre 30 y 60 %,
- escarpes: inclinación entre 60 y 100 %, y
- escarpes subverticales: inclinación mayor al 100 %.

En islas oceánicas, los **valles transversales** corresponden a angostas penillanuras:

- que rebasan las amplitudes de los valles habituales insulares, recorridos por las aguas superficiales,
- delimitadas por barreras físicas prominentes, como cuchillos, o sucesiones de morros, que determinan, en muchas ocasiones, perfiles transversales muy abiertos en "U", por desarrollo de piedemontes, en estas laderas,
- y con sus ejes longitudinales, de pendientes suaves, o muy suaves, sensiblemente perpendiculares a la orilla marina próxima.

Los valles transversales podrían enlazar valles perilitorales con glacis litorales. En tales casos:

- Las cabeceras suelen cortar, más o menos ortogonalmente, a los valles perilitorales.
- Y los cauces subsidiarios se difuminan en los glacis litorales, por tener escasas profundizaciones.

En el litoral oriental de la Isla de Fuerteventura hay buenas representaciones de estas unidades morfodinámicas.

Los **valles perilitorales** consisten en penillanuras amplias, a cotas bajas, y de pendientes muy suaves o suaves, con sus ejes longitudinales cuasi paralelos a la orilla marina próxima, delimitados por barreras físicas, que pueden ser:

- Sucesiones de cuchillos, bastante perpendiculares a la costa, con laderas intermedias, o topografías más escarpadas.
- Sucesiones de morros (fortalezas o alcazabas), por evolución geomorfológica de los cuchillos.
- Y/o cadenas “montañosas”.

Como ejemplos, pueden servir los Valles Centrales de Fuerteventura.

Las **mesetas perilitorales** se definen como penillanuras, de límites abiertos (sin barreras físicas tipo “montaña”), relativamente a cotas más elevadas, en relación con los territorios circundantes.

Geomorfológicamente, pueden evolucionar a mesas, y de estas a cuchillos y morros, por la acción erosiva de las aguas superficiales encauzadas.

Las mesetas se diferencian de las mesas:

- en razón a las dimensiones y geometrías del techo, y
- por sus localizaciones, respecto a redes hidrológicas.

Las mesetas perilitorales alcanzan dimensiones grandes, que pueden rebasar delimitaciones visuales. Una dirección determinada no tiene por qué dominar sobre la otra. Pueden soportar, en su interior, una red hidrológica.

En cambio, las **mesas** configuran techos de dimensiones comparativamente reducidas, donde la longitud predomina, en mucho, sobre la amplitud. Pueden delimitarse visualmente, desde puntos singulares de observación, a cotas más altas. Representan divisorias de aguas de interfluvios, que separan pares de cauces de aguas superficiales, prácticamente paralelos.

Ante unos condicionantes litológicos y de clima, tanto los valles como las mesetas perilitorales pueden formar suelos diferenciados, dentro de territorios más amplios. Esto se observa en las cartografías edáficas de los Valles Centrales en Fuerteventura, y de la Meseta de San Andrés, en la Isla de El Hierro. Lo anterior determina, en principio, unos posibles usos específicos agropecuarios, en estas unidades territoriales, como verifican sus respectivos mapas de vegetación.

## 2. Sistemas morfodinámicos.

Los sistemas morfodinámicos se identifican con los tipos de litorales, según una clasificación morfológica, que considere las características de la zona sumergida más interna (la más próxima a tierra).

Para las islas oceánicas, a partir de una modificación de la Clasificación de Ottmann (1965), se pueden admitir tres tipos de litorales:

- Costas bajas. Se identifican plataformas insulares, de pendientes someras.
- Costas abruptas. Hay una ausencia de plataformas insulares.
- Y costas intermedias. Las plataformas insulares están presentes, pero con pendientes relativamente acusadas.

Para esta clasificación, se utiliza la pendiente media entre la orilla y la coronación del talud, siempre que entre estos límites hayan amplitudes significativas: que rebasen la milla y media. Pueden presentarse las siguientes situaciones:

- Que la pendiente sea igual o menor al 2.17 %. Se admite la presencia de una plataforma insular somera (costa baja).
- Que la pendiente sea igual o mayor al 33.33 %. no se admite la existencia de una plataforma insular (costa abrupta).
- Que se den pendientes entre los anteriores valores (costa intermedia).

Referencia: La pendiente media de las plataformas continentales es de 1 por 1000.

Cuando entre la orilla y la coronación del talud se desarrollan amplitudes exiguas, la costa se clasifica directamente como abrupta.

### 3. Conjuntos geológicos.

Los conjuntos geológicos se establecen conforme con la naturaleza petrológica, tanto física como geoquímica, de los relieves emergidos, que llegan y conforman los litorales. En función de estas naturalezas, serán, en buena medida, las respuestas, o efectos, morfodinámicos, ante las geodinámicas actuantes.

En las Islas Canarias, la columna litológica simplificada integrada, que soporta los procesos morfodinámicos, describe la siguiente secuencia de materiales, de techo a muro:

- aluviales,
- basaltos alcalinos, con intercalaciones toleíticas, recientes,
- formaciones polimícticas de nube ardiente,
- fonolitas,
- traquitas / sienitas,
- basaltos alcalinos antiguos,
- Complejo Basal (formación prioritariamente plutónica, raíz del volcanismo).

Los tramos volcánicos pueden estar constituidos por coladas de lava, o por coladas piroclásticas, bajo diversas modalidades texturales y estructurales, que van a influir en los procesos y efectos de construcción de los relieves.

### 4. Criterios, siglas, grafismos y simbologías para el levantamiento de mapas morfodinámicos, en islas oceánicas, de climas mesotérmicos subhúmedos.

La cartografía de las categorías morfodinámicas, en el entorno canario, puede hacerse conforme con los siguientes criterios, siglas y simbologías:

#### 1. Elementos de erosión.

Los elementos de erosión se indican mediante unas siglas, que se colocan junto al límite externo del mapa.

Se establecen las siguientes correspondencias:

alvéolos marinos: al  
arcos: a  
bancos esculpidos: b  
bloques de erosión: be  
charcones: ch  
cornisas: cn  
covachas: co  
cresterías: cr  
cuchillos marinos: cu  
farallones (fariones): f  
grutas: g  
hervideros (bufaderos): h  
monolitos isleos marinos: m  
oquedades superficiales centimétricas: o  
paredones isleos: pi  
pasillos de erosión: pe  
plataformas de abrasión: pa  
portillos: pr  
socavones: s  
taffonis marinos: t

#### 2. Unidades morfodinámicas.

En la cartografía de las unidades morfodinámicas, se utilizan un grafismo y una simbología con los siguientes criterios:

**Glacis litorales:**

Rayado discontinuo, paralelo a la orilla generalizada, dentro del mapa. Los ríos, barrancos y/o quebradas desarrollados en estas unidades se representan con rayas continuas, según los ejes de los cauces.

**Rasas:**

Rayado paralelo a la línea generalizada de costa, dentro del mapa. Se indican las altitudes alcanzadas en el borde interno.

**Acantilados:**

Rayado perpendicular a la línea generalizada de costa, dentro del mapa. Se indican las cotas de coronación en su borde interno.

Este rayado puede englobar las siguientes siglas:

H: Cuando el acantilado se encuentra en situación hipercrítica.

I: Cuando hay inestabilidad litológica-estructural.

P: Hace referencia a paleo-acantilados.

**Laderas intermedias:**

Rayado discontinuo, perpendicular a la línea generalizada de costa, dentro del mapa.

El rayado engloba las siglas L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, o L<sub>3</sub>, según se trate de lomas, colinas o laderas abruptas, respectivamente.

Para describir inestabilidades, se vuelve a utilizar la sigla I.

**Grandes playas arenosas:**

Punteado dentro del mapa.

**Depósitos eólicos de arena:**

Pequeñas cruces dentro del mapa.

**Formaciones sedimentarias “deltaicas”:**

Dibujitos representativos de cantos irregulares, en el interior del mapa.

La coincidencia de varias unidades se cartografía con la superposición de sus símbolos y grafismos.

Las caletas, o conjuntos de caletas, se indican mediante pequeñas semi-circunferencias, abiertas hacia el mar, sobre flechas delimitantes de doble sentido, en el límite externo del mapa.

Los **litorales primarios** se representan con un trazado discontinuo, paralelo y próximo a la línea generalizada de costa, en el interior del mapa. Este litoral será objeto de otros símbolos y siglas, en relación con las formas y estructuras identificables, aunque fuera de un esquema estrictamente morfodinámico.

**3. Sistemas morfodinámicos (en función de los tipos de litoral):**

Los sistemas morfodinámicos se representan con las siguientes siglas:

A, para las costas abruptas,

B, para las costas bajas, y

CI, para las costas intermedias.

Estas siglas se colocan frente a la orilla, en el exterior del mapa, y sobre una flecha de doble sentido, que delimita el dominio del sistema.

**4. Conjuntos geológicos:**

Para las Islas Canarias, en la cartografía de estas categorías, se suelen utilizar los siguientes colores:

aluviales: rosado,

basaltos recientes: verde,

formaciones polimícticas de nubes ardientes: amarillo,  
traquitas / sienitas: marrón,  
fonolitas: naranja,  
basaltos antiguos: azul, y  
Complejo Basal: rojo.

Las coloraciones caben sustituirlas por flechas de doble sentido, las más externas, que:

- soporten la denominación geológica, sin siglas, y
- abarquen al conjunto en cuestión.

Se pueden dar conjuntos mixtos.

### 3. Pautas para la configuración morfodinámica del litoral, en determinados escenarios ilustrativos.

De acuerdo con criterios morfodinámicos, las Islas Canarias pueden soportar la limitación, en sentido amplio, de una franja litoral emergida. El límite interno (hacia tierra) se identifica a partir de tres criterios:

1. Las cabeceras de las rasas, glacis litorales o laderas intermedias.
2. La línea de coronación de los acantilados, que tengan carácter de unidad morfodinámica.
3. Y las cotas de coronación de los frentes de los cuchillos transversales significativos.

Si en un litoral se suceden relevantes cuchillos transversales (sea el ejemplo de la vertiente SW de Gran Canaria), entre frente y frente, el límite desciende progresivamente de cota, hacia el cauce del barranco configurado, aguas arriba. En el descenso, se opta por mantener una pendiente fija arbitraria, en principio, de un 25 %. De esta manera, se dibuja en el mapa una especie de onda, en donde una serie de convexidades, hacia tierra, coinciden con los cauces de los barrancos, y una segunda, hacia el mar, con los frentes de los cuchillos.

Las playas y los depósitos eólicos de arenas no llegan, normalmente, a definir la totalidad de un litoral emergido.

En el supuesto de unidades morfodinámicas, a gran escala, con longitudes inapropiadas para su planificación y manejo en detalle, conviene admitir sub-unidades, según los siguientes rasgos fisiográficos:

- barrancos bien desarrollados, de recorrido transversal,
- estrangulamientos locales en la franja litoral,
- cambios significativos en las amplitudes medias,
- cambios generalizados en las pendientes topográficas, sin dejar de definir una misma unidad,
- y/o límites de sistemas, conjuntos geológicos o provincias morfodinámicas.

En esto, se apoya la sectorización del extenso glacis litoral, que se localiza en la vertiente oriental de Gran Canaria, y donde se cartografía una serie transversal de barrancos, casi paralelos. Las sub-unidades forman una especie de "bolsas", que quedan delimitadas por los cauces de barrancos consecutivos. Estas sub-unidades tienen sentido en cuanto que puedan ser utilizadas para parcelar un territorio, en razón a distintas clasificaciones de uso.

La franja litoral, en sentido amplio, cuando alcanza amplitudes considerables, se puede subdividir en varias zonas, aunque preferentemente se tiende a establecer, siempre que posean identidades propias:

- un prelitoral, o litoral interno, hacia tierra, y
- un litoral externo, que llega a la orilla.

Estas nuevas delimitaciones también se hacen mediante la información morfodinámica. Pero no se excluyen, y a veces pueden jugar un papel fundamental, criterios tales como:

- indicadores biológicos,
- determinadas invariantes, que actúan como barreras físicas significativas,
- límites legales,
- etc.

Entre estas dos zonas, caben esperar mutuas influencias, incluidas las presiones que determinan las intervenciones antrópicas.

Tanto las unidades, sub-unidades y zonas intra-unidades, que se cartografían, sirven para diseñar, en un primer intento, unidades ambientales, al objeto de la ordenación del territorio.

#### **4. La cartografía Morfodinámica a partir de programas informáticos.**

Las representaciones del relieve, con adecuadas:

- escalas espaciales, que pueden ser diferentes en las tres direcciones, para un mismo caso,
- orientaciones, y
- altitudes del “punto de observación”,

se obtienen con el empleo de programas para computadoras, del tipo “Sufer”.

Tales diagramas gráficos:

- Contienen una fuerte dosis de componente de cartografía morfodinámica
- Y son herramientas muy interesantes para el manejo del territorio. En realidad, pueden constituir una de las informaciones de base para diseñar “Sistemas de Información Geográfica”.

La información se puede obtener en diagramas:

- tridimensionales, o
- bidimensionales.

En muchos casos, la reducción de los diagramas tridimensionales a bidimensionales implica un aumento de la abstracción, en los procesos descriptivos, deductivos e interpretativos. Sin embargo, para algunas caracterizaciones en concreto, las representaciones bidimensionales ganan en eficacia, dentro de estos procesos.

Para un estudio de tanteo, un programa tipo “Sufer” permite:

##### ***1. Delimitar franjas a diferentes colores, entre determinadas altitudes de curvas de nivel.***

Con ello, se aprecia, de una forma rápida y patente, los siguientes rasgos fisiográficos:

- altitudes máximas que se alcanzan en el relieve, a partir de un nivel de base determinado,
- grados de abruptividad del terreno, en su conjunto y por sectores, y
- grados de angostidades entre las laderas de interfluvios.

Así, dentro de un más amplio abanico de posibilidades, de forma provisional, y en función única de la topografía, que no es sino una de las diversas variables a tener en cuenta, se podrían trazar las ubicaciones de ciertas estructuras muy vinculadas a dependencias geométricas del relieve, como, entre otras:

- carreteras y
- cierres de cauces de aguas superficiales, para la construcción de presas.

##### ***2. Identificar unidades morfodinámicas.***

De un análisis sencillo de los diagramas tridimensionales, con las franjas a diferentes colores, entre curvas de nivel, se visualizan de inmediato, con sus dimensiones:

- Caracterizaciones de los relieves de las aguas superficiales encauzadas (de los ríos, barrancos, ramblas, quebradas etc.).
- Caracterizaciones fisiográficas y localizaciones de los valles en general, incluidos los transversales y perilitorales.
- Sectorizaciones altitudinales, según unos criterios previamente establecidos, de los relieves de las aguas encauzadas y de los valles. Por ejemplo: sector bajo de un barranco, sector medio, o sector alto.

- Aspectos fisiográficos y localizaciones de mesetas perilitorales y de mesas.
- Rasgos morfológicos y localización de cuchillos.

Aparte de observarse muy bien divisorias de aguas, y barreras físicas en general.

### 3. Configuraciones de unidades territoriales y de cuencas visuales de paisajes.

Las anteriores visualizaciones, pero con una especial participación de las divisorias de aguas, o cualquier tipo de barrera física, tendrían una gran utilidad en posibles delimitaciones de:

- unidades territoriales, para los diversos usufructos de las mismas, y
- cuencas paisajísticas.

A su vez, estos bloques diagramas hacen factibles las delimitaciones de los dos tipos de cuencas paisajísticas:

- desde “puntos singulares de observación”, y
- de “recorridos usuales”.

El primer tipo de cuencas requiere la identificación de los puntos singulares de observación (los miradores), que también se hacen fácilmente con estos diagramas tridimensionales.

### 4. Análisis de pendientes, con sus implicaciones.

Directamente sobre planos, que representen ortogonalmente superficies entre determinados valores de curvas de pendientes, expresadas en porcentajes, donde las coloraciones estén dadas conforme con unos criterios preestablecidos, que identifiquen intervalos, o rangos, de inclinaciones (de 0% a 10 %, de 10% a 20%, de 20% a 30%, etc.), se obtienen:

- Tipos, ubicaciones y dimensiones de laderas y/o de vertientes (de acantilados, lomas, colinas, laderas abruptas y/o escarpes), sin ninguna clase de cálculos.
- Ubicación, con sus límites, dimensiones y cotas de arranque y de coronación, de glacis litorales, en sentido amplio.
- Delimitaciones de superficies de distintos grados de potencialidad respecto a procesos y efectos de deslizamientos, soliflusiones, desprendimientos, etc., y para unas condiciones determinadas de climatología, de cobertura vegetal y de características litológicas. Esto repercute en las configuraciones de áreas, con diferentes comportamientos en relación con riesgos geológicos naturales, que condicionan en mucho los usos de los territorios.
- Y superficies de idoneidades, para diferentes usos, en función de las pendientes. Así, por ejemplo, a medida que se rebasa por lo general, y hacia valores mayores, una pendiente del 15%, se pierde progresivamente idoneidad para el uso urbanístico.

Los mapas de curvas de pendientes se pueden complementar con otros de curvas de nivel, donde ahora las coloraciones de las superficies proyectadas ortogonalmente hacen referencias a cotas iniciales y finales, de unos determinados intervalos altitudinales.

### 5. Levantar perfiles.

Los perfiles topográficos, o cortes, resultan básicos en diversos tipos de estudios ambientales. Por ejemplo, con ellos se analizan:

- sombras en cuencas paisajísticas, y
- escombreras de minería, y/o cicatrices de canteras a cielo abierto, reales o virtuales, visibles desde determinados lugares.

Con esta otra información, se pueden hacer determinadas evaluaciones de impactos ambientales, que producirían ciertos proyectos, una vez realizados, y se podría proceder a replanteos de los mismos.

Para la obtención de estos perfiles, mediante un programa tipo “Surfer”, se precisa reducir, drásticamente, la malla de coordenadas de partida. Sólo se trabaja con los datos de la hilera, que queda a la largo del perfil buscado. Normalmente, las observaciones adecuadas se encuentran:

- en la orientación que coincide, direccionalmente, con la hilera en cuestión (con la dirección del corte),
- y con preferencia, en la orientación ortogonal a la anterior.

Sin embargo, se recomienda trabajar con programas específicos para generar perfiles, como el CARTOMAP, que contienen guitarras personalizables, que posibilitan un número grande de alternativas en los resultados, para adaptarse a las necesidades del usuario.

Además, tales programas suelen:

- permitir que se puedan retocar los perfiles, y dibujar en ellos, con las herramientas de CAD,
- y obtener vistas animadas, a lo largo de perfiles, a diferentes distancias, de forma tal que ofrecen los aspectos que tendrían los terrenos y los proyectos, si un usuario se desplazara sobre ellos, antes o una vez finalizadas las intervenciones.

# C A P Í T U L O 5

## *Los sistemas de información geográfica (SIG o IGS)*

### E S Q U E M A :

1. Los sistemas expertos, a modo de arranque.
2. Características de los soportes SIG.
3. Los soportes denominados SIG y los impactos ambientales.
4. Los mapas geocientíficos bajo aplicación SIG.

### 1. Los sistemas expertos, a modo de arranque

Un “**Sistema de Información Geográfica**” es, simplemente, un sistema experto. Éste se puede definir como un conjunto, que sustituye al experto en la materia, formado por:

- las máquinas (hardware),
- sus algoritmos (software), y
- una información, lo más completa posible, sobre la fenomenología implicada.

En un sistema experto, se describen los siguientes elementos:

- una base de datos,
- unas reglas de decisión,
- un interface del usuario (computador, teclado, pantalla, etc.), y
- el usuario, que presenta el problema, y toma las decisiones, en función de las respuestas (output) del sistema.

### 2. Características de los soportes SIG

En un Sistema de Información Geográfica, la **base de datos** está configurada:

**a).** Por una información pre-diseñada.

Esta información comprendería:

- Categorías morfodinámicas, con sus criterios de identificación.
- Criterios para delimitar unidades ambientales.
- Clasificaciones climáticas, con sus variables definitorias,
- Comportamientos mecánicos de los suelos, en función de las características litológicas, climatológicas, de cobertera vegetal, etc.
- Clases de riesgos geológicos naturales, con criterios apropiados para sus identificaciones.
- Clasificaciones edáficas, con sus variables definitorias.
- Condiciones de idoneidad para desarrollos óptimos de comunidades y poblaciones de animales y plantas.
- Redes de dependencias entre comunidades y poblaciones de biocenosis.
- Descripción de los diferentes tipos de paisajes, con sus feno-componentes.
- Criterios para delimitar cuencas paisajísticas.
- Distintos tipos e idoneidades de tejidos agrícolas, incluidas sus redes de comunicaciones.
- Y en general, toda la información de base, para la generación de los diferentes mapas temáticos.

Además de:

- Inventarios de intervenciones antrópicas, con sus efectos en el entorno geográfico, en dependencia con diferentes variables.
- Y modelos de evaluación de impactos, que incluyan áreas de influencia.

b). Y por otra circunstancial, en relación con el territorio que se estudie. Por ejemplo:

- malla de coordenadas topográficas,
- cartografía de Geología Regional,
- distribución de las variables edafológicas,
- medidas estadísticas de lluvias, vientos, temperaturas, días soleados, etc.
- distribuciones de especies y de biomasas,
- calificaciones y clasificaciones, con sus distribuciones, de usos actuales del territorio,
- etc.

Se denomina como **“input”** la introducción de la información, para la creación de la base específica, circunstancial, de datos

Las **reglas de decisión** se centran principalmente en:

- Confeccionar los diferentes mapas temáticos, específicos del territorio delimitado.
- Sobreimponer los mapas temáticos específicos.
- Inferir, describir, analizar, cuantificar e interpretar procesos y efectos, entre los diversos mapas temáticos específicos, y sus componentes, que reaccionen en cadena (flujos de reacciones), cuando se modifiquen algunos de ellos.
- Establecer correspondencias entre acciones antrópicas y modificaciones en el entorno geográfico, con sus flujos de reacciones.
- Y generar la secuencia de abstracciones, desde los mapas temáticos sobreimpuestos, con los flujos de reacciones, hasta llegar a mapas prescriptivos.

Se establecen comunicaciones en un doble sentido (reversibles), entre:

- la base de datos y las reglas de decisión,
- las reglas de decisión y la interface, y
- la interface y el usuario.

Cuando se está en condiciones, para que funciones el software, el usuario, a través de la interface, puede adoptar, en principio, dos posturas:

- Seleccionar, en un proceso iterativo, los diferentes mapas descriptivos, entre los diseñados, que se encuentran almacenados en una base de datos inicial, pero reajustados por la base circunstancial de datos, para hacer propuestas de recomendaciones y de usos.
- O pedir, después de describir y ubicar las intervenciones antrópicas, que se quieren introducir, los índices específicos de uso y los impactos, con sus evaluaciones, que tendrían lugar.

Las respuestas que da el sistema, y que recibe el usuario, se llaman **“output”**. Y esto ya permite la toma de decisiones, para un correcto manejo del territorio. Pero en estas respuestas, hay que tener presente las incertidumbres procedimentales implícitas, propias de las diferentes cartografías descriptivas, o frente a los distintos tipos alternativos de intervenciones.

Con las características descritas de estos sistemas expertos, se cumplen, usando las mismas palabras de Patrono (1995):

- la necesidad de entender los procesos naturales, por una parte,
- y de identificar los efectos de modificaciones potenciales, o reales, inducidas por actividades humanas.

Y todo ello resulta sumamente necesario:

- en todo estudio de evaluación de impactos ambientales,
- y en las propuestas y recomendaciones de usos, en un territorio.

Conforme con Nijkamp y Scholten (1993) y Patrono (1995), las aplicaciones de los diseños de los Sistemas de Información Geográfica pueden llegar a ser herramientas efectivas, en la ordenación, planificación y manejo de un territorio, si se satisfacen las condiciones siguientes:

- Que los gestores dispongan de formulaciones políticas claras, para la toma de decisiones.
- Que las simulaciones SIG hayan partido de informaciones actualizadas, obtenidas con medios fiables.
- Que los sistemas expertos, así configurados, representen marcos uniformes de referencia, con informaciones integradoras y coherentes.
- Y que estas simulaciones sean válidas como sistemas de apoyo a las decisiones, respecto a la selección óptima entre las alternativas estratégicas.

En definitiva, se desarrolla y delimita el principio de un soporte, susceptible de ampliarse cada vez más, capaz de aproximarse a la modelización de los conjuntos de causas, procesos y efectos, con sus evoluciones en el espacio y en el tiempo, que se identifican y discuten en determinados territorios.

### 3. Los soportes denominados SIG y los impactos ambientales

De acuerdo con Rivas et al. (1995), los soportes de Sistemas de Información Geográfica deben permitir el desarrollo de métodos, destinados al estudio de impactos ambientales. Dentro de estos estudios, se incluyen la identificación y evaluación de las repercusiones en la Geomorfología Ambiental, en relación con usos actuales del territorio y/o proyectos a realizar.

También conforme con los anteriores autores, estos métodos deben reunir dos requisitos básicos:

- que se puedan aplicar de una forma generalizada (en diferentes escenarios geográficos), y
- que lleguen a cálculos de medidas mediante criterios objetivos.

Obviamente, estos métodos partirán de una base de datos, que pueda generar un conjunto apropiado de mapas temáticos. Para un escenario geográfico determinado, estos permitirán:

- diseñar diferentes tipos de paisajes, o de entornos naturales o ambientales, en una forma más general,
- sus importancias,
- y sus distribuciones.

La escasez de medidas directas de campo, de los impactos, se sustituye por la información detallada sobre la distribución espacial de los “*descriptores de vulnerabilidad*”, en el sentido en que los describe Martínez (1996).

Se pueden obtener, para las distintas alternativas, los mapas de puntuaciones de impactos:

- tanto analíticos, de cada uno de los factores implicados (mapas de los “*descriptores de sustentabilidad*”),
- como de síntesis, donde se integran el conjunto de factores implicados y sus interacciones (mapas de “*indicadores de sustentabilidad*”),

si en las “*reglas de decisión*” se incluyen los análisis de las “*matrices causas-efectos*”, según Martínez (1994 y 1996).

Estas matrices consideran las distribuciones espaciales, los coeficientes temporales y las probabilidades de presentación de los impactos ambientales.

Los mapas de impactos, en conjunción con los restantes generados, a partir de la base de datos (generales y circunstanciales propios del escenario), darán respuestas a las repercusiones que tendrán:

- la explotación de recursos,
- o la ejecución de un proyecto cualquiera,

en las calidades de la unidad ambiental afectada.

En buena medida, todo esto está de acuerdo con las dos siguientes expresiones de Rivas et al. (1995), que utilizan en sus reglas de decisión:

$$I_{ab} = \sum_{i=1}^{ro} \sum_{j=1}^{co} x_{ij} y_{ij}$$

donde:

$I_{ab}$  = puntuación del impacto de la alternativa "a" sobre el factor "b".

x = mapa de amortiguación de un efecto (de las distintas intensidades de impacto), en relación sobre un factor "b", dentro de un territorio unidad, y con una escala de 0 a 1, para las importancias de las alteraciones.

y = mapa de distribución espacial de los valores naturales del factor "b", también dentro de un territorio unidad, y con una escala de valores de 0 a 1.

ro = número de filas en la matriz de impactos.

co = número de columnas en la matriz de impactos.

$$X_{max} = \sum_{i=1}^{ro} \sum_{j=1}^{co} x_{ij} y$$

donde:

$X_{max}$  = impacto potencial máximo, para la alternativa considerada.

x = mapa de amortiguación, representando el efecto del impacto.

y = valor natural máximo, para el descriptor considerado.

ro = número de filas en la matriz de impactos.

co = número de columnas en la matriz de impactos.

Otras expresiones, que se tendrían que tener en cuenta, en las *reglas de decisión*, son las referentes a estimaciones de calidades, vulnerabilidades, índices de usos, y sustentabilidades, como las que formula Martínez (1996).

Bajo soportes de SIG, pero ya puramente dentro de un contexto de Geomorfología Ambiental, se podrían delimitar condiciones de contornos específicos, de los impactos ambientales, con sus particulares reglas de decisión.

A título de ejemplo, cabe considerar la explotación de recursos geomorfológicos. Para estos casos, Rivas et al. (1995), despliegan las siguientes etapas evaluativas, dentro de un análisis de impactos:

- Evaluaciones para cada recurso (afloramiento por afloramiento). El volumen con un impacto dado se compara con el volumen explotable original (no impactado), del afloramiento en cuestión.
- Evaluaciones en un contexto más general. La "pérdida" de volumen, en un afloramiento simple, se compara con la "suma" de afloramientos, de su propio recurso, dentro del área en estudio.
- Las pérdidas en valores monetarios.
- Y el mejoramiento o disminución de la accesibilidad, al recurso afectado.

Para estas evaluaciones, Patrono et al. (1995):

- Indican, como premisa general, que la medición del impacto global no puede ser una mera multiplicación, o sumatoria, de las estimaciones que se obtienen en cada una de las anteriores etapas evaluativas.

- Afirman que diferentes situaciones espaciales (y también geográficas y políticas) requieren combinaciones diferentes, así como importancias y pesos también diferentes. Señalan, como ejemplo, el hecho de que si el impacto fuera evaluado por simple multiplicación, los valores monetarios podrían afectar enormemente al análisis del impacto, con resultados incontrolables (simplemente de acuerdo con la situación del mercado y con las fluctuaciones del precio).
- Subrayan que la importancia geomorfológica y el valor monetario, de un mismo recurso, pueden variar de una región a otra, aún dentro de un mismo país.
- Proponen que las soluciones más fiables serían las que proporcionan los cuatro resultados por separado. Las prioridades y pesos pueden ser dados por expertos locales, en aplicaciones particulares.
- Y desarrollan expresiones específicas, que alimentan a las “reglas de decisión”.

Las formulaciones específicas, de estos autores, para las evaluaciones de impactos promedios, por separado, son las siguientes:

a). Respecto a la primera etapa evaluativa (de un recurso “A” en un simple afloramiento):

$$I_A = \frac{\sum_{X=1}^n \frac{V_{Tx} + V_{Ix} \Pi R_x}{V_{Tx}}}{n} - 1$$

donde:

$I_A$  = impacto promedio en los afloramientos afectados.

$x$  = afloramiento afectado.

$n$  = número de afloramientos afectados.

$V_{Tx}$  = volumen explotable del afloramiento  $x$ .

$V_{Ix}$  = volumen afectado del afloramiento  $x$

$R_x$  = reversibilidad del impacto en el afloramiento  $x$

Se cumple que:

$$-1 \leq R \leq 0$$

Si  $R = -1$ , implica que la calidad dañada no es recuperable.

Si  $R = 0$ , la calidad dañada es recuperable.

Para un análisis multitemporal,  $R$  puede ser usado como tiempo variable.

b). Respecto a la segunda etapa evaluativa (de un recurso “A”, en la totalidad del área en estudio):

$$I_{TA} = \frac{V_{TA} + \sum_{X=1}^n V_{Ix} \Pi R_x}{V_{TA}} - 1$$

donde:

$V_{TA}$  = impacto promedio en el recurso A, dentro del área estudiada.

$x$  = afloramiento afectado.

$n$  = número de afloramientos afectados.

$V_{TA}$  = volumen explotable total del recurso A, dentro del área estudiada.

$V_{Ix}$  = volumen afectado del afloramiento x

$R_x$  = reversibilidad del impacto en el afloramiento x

e). Respecto a la tercera etapa evaluativa (las pérdidas monetarias para el recurso “A”):

$$M_A = \left( - \sum_{X=1}^n V_{Ix} \Pi R_x \right) \Pi C$$

donde:

$M_A$  = pérdidas monetarias para el recurso A.

x = afloramiento afectado.

n = número de afloramientos afectados.

$V_{Ix}$  = volumen afectado del afloramiento x

$R_x$  = reversibilidad del impacto en el afloramiento x

C = precio (por m3)

d). Respecto a la cuarta etapa evaluativa (mejoramiento, o deterioro, de la accesibilidad al recurso “A”):

$$I_{TAacc} = \frac{\sum_{Y=1}^{k^1} (M + m - D_y)}{\sum_{Z=1}^{k^2} (M + m - D_z)}$$

donde:

$I_{TAacc}$  = puntuación provisional para el impacto sobre la accesibilidad, en relación con el recurso A.

y, z = unidad de carretera analizada (post/pre-impacto).

$k^1$  = número de unidades de carretera, dentro de un registro dado de distancia (M-m), post-impacto.

$k^2$  = número de unidades de carretera, dentro de un registro dado de distancia (M-m), pre- impacto.

M = distancia máxima analizada, en metros.

m = distancia mínima analizada, en metros. Generalmente, la unidad de medida es el metro.

D = distancia, en metros, de la unidad de carretera considerada (z ó y), desde el afloramiento en cuestión

Para el conjunto de estas situaciones, se requieren, como “inputs”, datos que permitan los diseños de los siguientes tipos de mapas:

- mapas de distribuciones de los afloramientos, con el recurso “A”,
- mapas de profundidad y de volumen del material explotable,
- mapas de profundidades y de volúmenes de todos los afloramientos,

- mapas de profundidad y de volumen del impacto en un afloramiento determinado,
- mapas de profundidades y de volúmenes de los impactos en todos los afloramientos,
- mapas de los valores de reversibilidad de los impactos,
- mapas de áreas restantes (ni impactadas ni explotables), respecto a un afloramiento,
- mapas de áreas restantes (ni impactadas ni explotables), respecto a la totalidad de afloramiento.
- mapas de redes de transporte pre y post proyecto, en relación con uno o con la totalidad de afloramientos.

Patrono et al. (1995) discuten los Sistemas de Información Geográfica, en dependencia con las reglas de decisión asumidas, y los “inputs” reseñados, y llegan a las conclusiones de que estas herramientas de simulación informática son necesarias para interpretar los datos, espacialmente referenciados, que lleven a evaluaciones, en términos de:

- análisis fiables, sensibles y comparables, y
- robustez de las medidas de impactos.

#### 4. Los mapas geocientíficos bajo aplicación

Estos mapas se pueden entender de muchas maneras, ya que utilizan una denominación muy ambigua. En realidad, es el término “castellanizado” de “mapa científico de Geología” o “geológico” en inglés, a igual que “geo-impactos” equivalen a “impactos geológicos”. En sentido lato, se tratarían de puros mapas geológicos, que, por definición y por la forma de levantarlos, son científicos. No obstante, aquí, a los mapas denominados “geocientíficos”, se les dan un matiz ambiental. Serían parte de los mapas ambientales.

De acuerdo con este último enfoque, una definición válida, para los mapas “geocientíficos”, se podría centrar en **la representación, sobre un plano, de las respuestas geológicas, referentes a procesos y efectos, ante unas determinadas intervenciones antrópicas**. Estos mapas englobarían a los que representan a impactos geo-ambientales.

Admitida esta concepción ambientalista, un ejemplo de mapa geocientífico, restringido a un área litoral, sería aquél que representase las repercusiones de una explotación de áridos, en un banco sumergido, de fondos sueltos. En este caso en concreto, las representaciones de las repercusiones en los procesos y efectos geológicos se refieren:

- a la erosión (arranque), transporte y depósito de sedimentos, y
- a las nuevas formas geomorfológicas resultantes (destrucción de superficies de equilibrio y aparición de otras inestables, re-ubicaciones de orillas, degradaciones de dunas, etc).

Y no son mas que cartografías de impactos geo-ambientales.

Los mapas geocientíficos pueden soportar un tratamiento metodológico de Sistema de Información Geográfica, aunque sólo den respuestas restringidas a un marco geológico, que incluye el geomorfológico. Sin embargo, los mapas geocientíficos pueden formar parte de SIG más amplios.

En el supuesto del ejemplo indicado, los “inputs” estarían constituidos, en principio, por los siguientes insumos:

- Mapas batimétricos de detalle.
- Mapas de distribuciones, con morfologías de detalle, de afloramientos rocosos, de barras consolidadas, de costras, de áridos sueltos, de diferentes tipologías de áridos sueltos, y de cualquier componente litológico, en general, que forme parte del fondo.
- Mapa de clima marítimo, en los dominios de playa.
- Mapa de corrientes, en los dominios de plataforma litoral.
- Mapa de evolución posicional de las orillas de las playas.
- Mapa actual de formaciones de dunas litorales.
- Mapas de las formas de las dunas litorales.
- Mapas de las dinámicas sedimentarias de las dunas litorales.
- Mapa de evolución espacial de las formaciones de dunas litorales.
- Análisis estadístico de las características y de la distribución en el tiempo, de los temporales habituales, fuertes e inusitados.

- Análisis estadísticos de las topografías de las fachadas intermareales arenosas de las playas.
- Análisis de las dinámicas sedimentarias significativas, en los ámbitos de playa.

La información requerida debe cubrir el escenario geográfico, hasta donde se pueda sospechar que habrá impactos geo-ambientales.

Las respuestas (outputs) del SIG deben satisfacer la siguiente batería de preguntas, entre otras:

- ¿Cuáles serían los impactos previsibles?
- ¿Bajo qué variables (tipos de oleajes, corrientes litorales, características topográficas del fondo, volumen de explotación, etc.) ocurrirán los impactos geo-ambientales?
- ¿Cuál es el área de influencia directa, donde se dejarían sentir los impactos geo-ambientales?
- ¿Cuál es el área de influencia indirecta, donde se podrían evaluar impactos geo-ambientales?
- Una vez iniciada la explotación, ¿a partir de qué momento empezarán a aparecer los impactos geo-ambientales, en las distintas áreas de influencia? ¿Cuándo los percibirían los usufructuarios del territorio?
- ¿Cuáles serían las magnitudes e importancias de los impactos geo-ambientales, en las diferentes áreas de influencia?
- ¿Qué incertidumbres de presentación tendrían los geo-impactos esperados?

Para confeccionar los algoritmos de las reglas de decisión, se jugarían con las siguientes hipótesis de partida, por otra parte, muy revisables:

1. Los impactos geo-ambientales esperados serían los tendentes a la recuperación de los perfiles de equilibrio, si estos tenían lugar, en la plataforma litoral intervenida. Esto implicará:
  - Excavaciones remontantes, aguas arriba, hasta afectar a las orillas de las playas, que retrocederían hacia tierra, y, en algunos casos, a las dunas litorales, agotándolas en cierta manera, en cuanto que estas representan, en la mayoría de las circunstancias, despensas sedimentarias.
  - O falta de disponibilidades de áridos, en relación con otras playas de aguas abajo, si la plataforma litoral, en cuestión, desempeña un papel de fuentes de aportes. Entonces, en estos ambientes sedimentarios, de aguas abajo, aparecerían inestabilidades sedimentarias, o estas se acentuarían, si ya se daban.
2. Habrán geo-impactos, en playas de aguas arriba:
  - Cuando hubieran **ausencias de afloramientos rocosos longitudinales, barras consolidadas, o costras continuas.**  
Si existieran tales formas menores, sin “pasillos”, o fracturas, que las atravesasen bordeando a la totalidad de las playas potencialmente receptoras de las repercusiones, estas actuarían a modo de “contenciones”, impidiendo la llegada de los geo-impactos.  
Los afloramientos rocosos, barras consolidadas o costras de contención, con “pasillos” o fracturas transversales, sólo hacen retrasar, en el tiempo, la detección de los geo-impactos en la orilla.
  - Cuando se dieran **equilibrios en los perfiles del fondo de la plataforma litoral** a intervenir, constituida por materiales sueltos.
  - Cuando la plataforma litoral representara una “**contención**” de la playa, o playas, de aguas arriba.
  - Cuando se dieran unos agentes de transporte de los áridos, tanto sobre el fondo de la plataforma litoral como sobre los lechos de las playas sumergidas.
  - Y cuando la explotación, en la plataforma litoral, **extrajera un volumen igual**, o superior, al que supusiese una excavación igual, o superior, a la elevación media anual del nivel del mar (?), en una superficie equivalente a un cuadrado, cuyo lado alcanzara, o superara, la longitud de la playa afectada (?), bien sea de aguas arriba, o de aguas abajo.

Se estima una elevación media del nivel del mar de unos 0.5 centímetros por año. Este valor no tiene porque corresponderse con el regional, o local, por diversas causas. Considérese, por ejemplo, la neotectónica.

Conforme con ese valor medio global, del cambio del nivel del mar, y respecto a un frente de playa, que sufriera las repercusiones, de unos 2.5 kilómetros, habría geo-impactos después de una extracción de 31 250 metros cúbicos.

3. Para que ocurran los transportes de áridos, tendrán que darse:

- Corrientes litorales significativas en el fondo de la plataforma litoral.

Esta “significatividad” concurre, de entrada, si la corriente resultante, con velocidad para arrancar y transportar los áridos, propios del fondo intervenido, perdura, estadísticamente, doce, o más, horas al día.

La corriente resultante deberá proceder del sector bordeante de la playa, o playas, de aguas arriba, o dirigirse a una playa, o playas, de aguas abajo, que se alimentara, o alimentaran, de los áridos de la plataforma litoral a intervenir.

Para granulometrías medias iguales, o inferiores, a 0.6 milímetros, hasta el rango inferior de las arenas, estas corrientes resultantes tendrán velocidades iguales, o superiores a 20 centímetros por segundo, conformen con Hjulström (1935).

- Y oscilaciones infragravitatorias en las playas sumergidas impactables, de aguas arriba.

Las playas estarían sometidas a estas oscilaciones, como mínimo, cuando acontecieran los temporales fuertes, que dejaran huellas de denudación sedimentaria junto a las orillas, que retrocedían hacia tierra.

Estas oscilaciones transportarían las arenas hacia mar abierto (hacia la plataforma litoral).

4. Se admitirán:

- como perturbaciones directas las que tengan lugar en la plataforma litoral, y
- como indirectas, las que se identifiquen en las playas y dunas litorales.

5. En la orilla de una playa arenosa, se dejarán notar los impactos geo-ambientales en función de la probabilidad de presentación de los temporales, capaces de crear clara y fuertemente, durante varios días, situaciones disipativas (de oscilaciones infragravitatorias en las playas arenosas). Si estos temporales inciden con una probabilidad estadística de “x” años, los efectos impactantes, por la explotación de áridos, llegarán, también estadísticamente, dentro de esos “x” años.

A título de ejemplo, se puede reseñar que, en el entorno de las Islas Canarias, estos temporales fuertes están relacionados con situaciones del SW, y se presentan con una probabilidad de uno cada cinco o seis años. Temporales aún más fuertes están, estadísticamente, más distanciados: uno cada 15 años. Luego, en estos escenarios, los geo-impactos, como los que se consideran, afectarán a las orillas, de las playas arenosas, en un intervalo de tiempo de 5 a 15 años, desde el inicio de la explotación del recurso.

6. Las magnitudes de las repercusiones están determinadas por las distancias de las explotaciones a las playas arenosas impactables. Respecto a esta variable, se podría establecer una función exponencial decreciente, de forma tal que, a partir de una cierta distancia, en términos relativos, esto es, en dependencia con la amplitud de la playa, no habrían geo-impactos sensibles.

Se podría asumir que:

$$y = a \cdot e^{-bx}$$

donde:

y = grado de repercusión de los geo-impactos (magnitud).

x = distancia de la explotación.

a = ordenada en el origen. Representaría a los parámetros estáticos (metros cúbicos de áridos a explotar).

b = pendiente. Representaría a los parámetros dinámicos (corrientes litorales, oscilaciones infragravitatorias y otros).

Por la naturaleza del proceso físico, las repercusiones en la playa arenosa serán cero para una distancia cero. Para ello, la expresión:

$$y = a \cdot e^{-bx}$$

pasa a:

$$y = a(e^{bx} - 1)^{\frac{1}{2}}$$

Para distancias cortas (que comprendieran un número pequeño de veces la amplitud de la playa sumergida, las repercusiones se ajustarían a funciones que considerasen sólo los términos de orden uno, en el desarrollo de McLaurin, respecto a la expresión:

$$y = a(e^{bx} - 1)^{\frac{1}{2}}$$

Dicho de otro modo, para las explotaciones cercanas a la playa impactable:

$$y = a(1 + bx - 1)$$

Y en definitiva, se aceptaría que:

$$y = a(1 + bx - 1)$$

De aquí, se deduce una relación directa, no amortiguada, entre metros cúbicos a explotar y magnitud de los geo-impactos.

En el Sur de la Isla de Gran Canaria (Canarias), la playa sumergida de Maspalomas puede llegar a una profundidad de unos 10 metros (?), y definiría una amplitud playera de 1000 metros. Esto traduciría que, en la dirección de la corriente litoral resultante, una distancia casi corta podría ser de unos 6.5 kilómetros.

7. El grado de incertidumbre de que se produzcan los geo-impactos depende:

- Básicamente de la probabilidad estadística de presentación de los temporales regionales, o locales.
- Y, en segundo lugar, de las incertidumbres que conlleven los cálculos estadísticos de la corriente litoral resultante.

Se precisarán verificar, para sus correctas configuraciones, o limitaciones, algunas de estas hipótesis:

- bien mediante observaciones reales, o
- bien en bancos de pruebas (a escalas espaciales y temporales reducidas).

## C A P Í T U L O 6

*Las “Historias Morfodinámicas” como herramientas de una Geomorfología Ambiental.*

## E S Q U E M A :

1. Concepto de “Historia Morfodinámica”.
2. Interés de conocer “Historias Morfodinámicas”.
3. Pautas a seguir en las formulaciones de Historias Morfodinámicas.
4. Formulación de un caso particular, a modo de ejemplo, y sus implicaciones en el manejo del territorio.

**1. Concepto de “Historia Morfodinámica”**

Se entiende por **Historia Morfodinámica** las secuencias concatenadas de procesos y efectos morfodinámicos, que han acontecido en un territorio, para configurarlo físicamente, como respuestas a unas determinadas variables, condicionantes y dependencias.

Los **condicionantes** indican si unos determinados procesos y efectos se deben, o no, a unas **variables** específicas, y las **dependencias**, en qué medida intervienen esas variables, en el supuesto que representen a las causas.

Si ante unas causas concretas hay unas conocidas respuestas, se pueden prever las tendencias a unas nuevas configuraciones del territorio, si se invierten el signo de las variables. Por ejemplo: si la configuración de un territorio litoral está marcada por unos procesos y efectos de acumulaciones sedimentarias, por descensos relativos del nivel del mar, y, a partir de un momento dado, se invierte esta tendencia oceanológica, se habrá de esperar que se sucedan procesos y efectos contrarios, en este caso erosivos. El litoral tenderá a volver, paulatinamente, a mayor o menor velocidad, a una configuración “inicial”, la que había cuando comenzó el ascenso del nivel del mar, por movimientos eustáticos o epirogénicos.

Y conocer y comprender estas pautas evolutivas, frente a sus causas, son hechos que resultan imprescindibles para manejar, en general, un territorio, y, en particular, para optar por adecuadas soluciones, que resuelvan problemas erosivos - sedimentarios.

**2. Interés de conocer “Historias Morfodinámicas”**

Las formulaciones de “Historias Morfodinámicas”, de ciertos escenarios geográficos, podrían permitir la descripción y discusión de “**patrones de comportamiento**”, extrapolables a otros escenarios geográficos.

Si nos centramos en el litoral de Venezuela, por ejemplo, las configuraciones geomorfológicas, aparentemente similares:

- del Istmo y de la Península de Chacopata (Estado Sucre),
- del Istmo del Golfo de Coro y de la Península de Paraguaná (Estado Falcón), y
- del Istmo de la Caracola y del Morro Valdés (Isla de Margarita),

entre otros escenarios, hacen que tome relevancia el diseño de un “patrón”, para conocer y comprender determinados comportamientos físicos del litoral venezolano, siempre que:

- se hagan los apropiados cambios de escalas (temporales y espaciales), y
- se introduzcan o eliminen ciertas variables, que se requieran o sobren, en consonancia con las nuevas escalas, u otras circunstancias.

Con el desarrollo de uno de estos ejemplos, se llegaría a un “*patrón de comportamiento*” de los triplete:

- antepaís,
- istmo, y
- península,

de escenarios peculiares del Caribe.

El conocimiento y comprensión de “*patrones de comportamiento*” morfodinámicos son insumos necesarios para abordar problemas ambientales, en sus diversas fases:

- detecciones,
- definiciones,
- asunciones,
- elevaciones de alternativas, y
- estudios ambientales de retro-alimentación.

De esta manera, se dispondrá de una herramienta muy válida para ordenar, planificar y manejar determinados territorios, que podrían representar “*áreas geográficas estratégicas*” socioeconómicas y/o políticas. En el caso del litoral de Venezuela, se estaría ante entornos geográficos que encierran fuertes intereses, como los relativos a:

- proyectos de construcción de puentes (de Chocopata hasta la Isla de Margarita, vía Isla de Coche , por ejemplo),
- explotación de yacimientos gasíferos y de hidrocarburos en general,
- instalaciones hoteleras y turísticas,
- etc.

### 3. Pautas a seguir en la formulación de “Historias Morfodinámicas”.

Como en cualquier tipo de estudio, se recomendaría seguir una secuencia de pasos. Aquí, se deberían considerar todos y cada uno de los contenidos de la unidad territorial en cuestión, en dependencia con la Geomorfología Ambiental. Todo esto conllevaría a una fuerte abstracción y, obviamente, a una convergencia multidisciplinar. Por otra parte, se abordarían todas las implicaciones de los cambios geomorfológicos en estudio, y/o los inducidos por estos, en las unidades territoriales vecinas, con las que forman un sistema.

Sin embargo, por cuestiones didácticas, se simplifica la secuenciación, y se reduce a un contexto puramente físico. En este sentido, se recomiendan los siguientes pasos:

1. *Delimitar, de forma precisa, las unidades geomorfológicas. La participación de la cartografía morfodinámica constituirá una herramienta decisiva.*

Sea un istmo arenoso, que une tierras continentales con una supuesta isla inicial, y que separa a un mar abierto de una laguna costera, cuya bocana estuviera en otra fachada marítima. El ejemplo se podría corresponder con el Istmo de Chacopata, en el Oriente de Venezuela.

2. *Definir el interés específico de un estudio de Geomorfología ambiental, en los territorios delimitados.*

En el caso del ejemplo, sería:

- Conocer y resolver los problemas ambientales propios del territorio, y optimizar su usufructo.
  - Y saber identificar y comprender escenarios geográficos del ámbito del Caribe, de características fisiográficas cuasi similares (Istmo y Península de Paraguaná, en el Estado Falcón, entre otros), para llegar al diseño de un “patrón”, que permita unos primeros planteamientos y pre-resoluciones de problemas ambientales.
3. *Formular los factores del modelado geomorfológico, que se podrían haber identificado, o que se identifican, en los entornos en seguimiento.*

En Chacopata, serían:

- los cambios climáticos globales,
- las posibles actividades de una neotectónica,
- las energías de los oleajes dominantes, reinantes y ocasionales que inciden, y
- las interferencias en las fuentes y en los transportes de aportes sedimentarios.

4. Identificar, describir y verificar los cambios en las condiciones de contorno, respecto a los escenarios que se estudian, por los factores identificados.

En la ejemplificación, se esperarían cambios:

- en el nivel del mar, a causa de los movimientos eustáticos (en relación con los cambios climáticos globales) y/o epirogénicos (en dependencia con una neotectónica),
- y en la llegada de aportes sedimentarios, por una posible incrementación de la desertización, por una repoblación forestal, por sustitución de cultivos o de técnicas agrarias, o por construcción de obras marítimas, en el entorno continental próximo, de aguas arriba.

5. Prever los procesos geomorfológicos, dependientes de los efectos descritos. Por ejemplo, erosión, o acentuación de ésta, en el contexto de una evolución morfodinámica, controlada:

- por movimientos eustáticos positivos, y/o epirogénicos negativos,
- por caída de las capacidades de las fuentes de aportes de áridos,
- o por interferencias en los transportes sedimentarios.

6. Detectar y definir problemas ambientales (efectos), a consecuencia de los procesos geomorfológicos, que intervienen en los escenarios delimitados.

Para Chacopata, se esperaría inestabilidad, o su incremento, en la orilla, de la fachada marítima abierta.

7. Detectar y evaluar las repercusiones ambientales (en el uso, o usos, del territorio), por los efectos de los procesos geomorfológicos.

Un progresivo y rápido estrechamiento del Istmo de Chacopata pondría en precariedad un territorio, que sirve de soporte de infra-estructuras de servicio, destinadas a la Isla de Margarita (conducciones de agua y de electricidad). En definitiva, habría una caída potencial de un usufructo significativo del Istmo.

8. Asumir los problemas y proponer medidas mitigantes de los efectos geomorfológicos indeseables, para los usufructos de los territorios.

En Chacopata, ante la evidencia de un alarmante retroceso de la orilla externa, se podría pensar en su protección, mediante la construcción de obras marítimas, entre otras alternativas.

9. Analizar y evaluar los impactos correspondientes a las medidas mitigantes elevadas.

10. Redactar, de manera definitiva, los proyectos y realizarlos.

11. Hacer un seguimiento ambiental de los proyectos y de sus obras, y proponer y ejecutar medidas correctoras de impactos, en procesos de retro-alimentación, en revisiones constantes.

#### **4. Formulación de un caso particular, a modo de ejemplo, y sus implicaciones en el manejo territorio**

Sea de nuevo el caso de Chacopata, en la cara Norte de la Península de Araya, en el litoral oriental de Venezuela.

La unidad ambiental está delimitada, hacia tierra, por la base de una ladera intermedia, y comprende las siguientes sub-unidades:

- Glacis interno pre-llanura de inundación, al Sur de la Laguna costera.
- Glacis externo pre-llanura de inundación, al Norte de la Laguna costera.

- Llanura de inundación, en torno a la Laguna costera.
- Laguna costera.
- Barra de la Laguna costera (Istmo de Chacopata).
- Playa oriental de la "Isla" de Chacopata.
- Borde marítimo occidental de la "Isla".
- Barras delimitantes de la bocana, con dos sectores: el septentrional y el meridional.
- Laguna de Bocaripo.

La Laguna de Chacopata tiene aproximadamente 600 metros de anchura media y dos kilómetros de longitud. Se comunica con el mar a través de un canal de aproximadamente 30-40 metros de amplitud y de 2 a 4 metros de profundidad. Está bordeada de mangles en la costa Norte, Sureste y Occidental. No existen aportes permanentes de agua dulce, sin embargo, durante la temporada de lluvias, se forman pequeños riachuelos temporales, especialmente numerosos en la parte Sur de la laguna.

La Laguna de Chacopata se encuentra separada de la Laguna de Bocaripo por una angosta franja arenosa, pero en comunicación durante las mareas vivas.

El Istmo, de unos dos kilómetros, no llega a alcanzar los 30 metros de amplitud media, se eleva unos pocos metros sobre el nivel del mar y está constituido por arenas gruesas. Forma parte de la Playa Brava, que es un ambiente de elevada energía. Asimismo, este Istmo sirve de asentamiento de la carretera de asfalto, que conduce a la población de Chacopata, situada al Oeste.

La playa del Istmo presenta elevada energía durante todo el año, pero es particularmente intensa durante la época de los alisios y en las tormentas tropicales y huracanes, que, aunque se desplazan más al Norte, su efecto (lluvias, vientos intensos) se dejan sentir en la costa.

La configuración rectilínea de la costa, dirigida en sentido Sureste-Nordeste, representa una barrera casi perpendicular al sentido predominante de los vientos Nordeste-Suroeste, y, por ende, de las corrientes superficiales.

Las aguas territoriales se delimitan, externamente, mediante rectas desde los extremos externos de los promontorios - salientes más significativos:

- orilla del Pueblo de Guayacán,
- orilla del Pueblo de Chacopata,
- Morro de Chacopata, y
- Punta de Guarapotara.

El enmarque morfodinámico preliminar de la Laguna costera de Chacopata, sin tener presente un estudio de Geología Regional, se formula como sigue:

1. Durante el descenso del nivel del mar, por un movimiento eustático dependiente de una glaciación pretérita, o por un movimiento epirogénico, se favoreció el desarrollo de una flecha, desde la convexidad de la formación montañosa SE, que representaba una singularidad geométrica negativa (g). En el desarrollo de la flecha, la corriente dominante de deriva, hacia el NW, dependiente del oleaje del alisio (del NE), resultó fundamental.
2. La anterior formación sedimentaria avanzó hacia el NW, hasta apoyarse en una supuesta "Isla de Chacopata". La flecha pasó a istmo.
3. De esta manera, se cerró, por el NE, el estrecho, o brazo de mar, de Chacopata, y se formó un "golfo".
4. A continuación, a causa de un ascenso relativo del nivel del mar, por la etapa interglacial actual, o por una neotectónica, el Istmo entra en una fase de erosión. En estos momentos, retrocede a razón de un metro por año. En los últimos quince años, a partir de 1978, se midió una recesión de unos 15 metros (comunicación personal de Dimas, 1993, de la Empresa Cadafe).
5. En gran medida, el material de la erosión es transportado por una corriente de deriva, también de sentido NW, de acuerdo con la dirección de incidencia del oleaje dominante (del NE).

6. Parte de la carga sedimentaria de la deriva se difracta, en la singularidad geométrica negativa, de la punta más septentrional de Chacopata, y determina, en la dirección NE-SW:
  - una hemiflecha, y
  - un transporte de deriva, hacia el SW.
7. La carga sedimentaria del transporte de deriva, hacia el SW, alimenta, a su vez, el desarrollo de una flecha, desde la singularidad geométrica negativa, de la punta SW de Chacopata. Esta flecha está recogida, hacia tierra, respecto a la singularidad que la determina, y forma el cierre septentrional de La Laguna.
8. Cuasi contemporáneamente, se forma una barra areno-fangosa, desde el límite externo meridional de la Laguna (Guayacán). La barra se desarrolla hacia el Norte. La explicación de su génesis estaría en el choque de dos procesos hidrodinámicos:
  - Uno relacionado con la descarga sedimentaria de la Laguna, durante los periodos de vaciado mareal. Lleva, hacia el mar, parte de los aportes de áridos de las quebradas.
  - Y el otro correspondiente con el frenado de esta descarga, por los procesos oceanológicos, en el borde marítimo.

La bocana de la Laguna se encuentra en el extremo septentrional de esta última formación sedimentaria apoyada

9. A medida que se desarrolla la anterior barra, el terreno ganado al mar se coloniza por el manglar. Esto da estabilidad al depósito sedimentario, y propicia una conquista adicional del medio marino.
10. Desde la misma singularidad geométrica negativa de la punta SW de Chacopata, pero sin sufrir un proceso de “recogida”, se desarrolla otra flecha, paralela a la anterior. Esta otra formación sedimentaria se encuentra, actualmente, en una fase evolutiva de hemiflecha, y llega casi a la altura de la bocana de la Laguna. Potencialmente, formaría una laguna “secundaria”, adosada externamente a la principal.
11. Los materiales de vaciado de la Laguna, desviados por la corriente dominante de deriva, junto con los materiales transportados por esta corriente, forman una hemibarra, que se desarrolla hacia el SW, la cual bloquea parcialmente la bocana lagunar. Las embarcaciones, para entrar en la Laguna, tienen que desviarse hacia el Sur, y tomar luego la dirección SW - NE.
12. Pueden darse, por otra parte, dos alternativas sedimentológicas:
  - Que la carga sedimentaria de vaciado sea mayor que la que podría transportar la corriente de deriva, que ya, de por sí, transporta áridos.
  - O que ocurra el caso contrario.

En el primer caso, la barra dependerá, significativamente, de los áridos de la Laguna, y estará difractada hacia el SW, por la corriente de deriva. Rebasará el borde meridional de la bocana, que podría actuar a modo de singularidad geométrica negativa. La barra tendría una cierta componente de flecha emergida.

En la segunda circunstancia, la barra dependerá de la carga sedimentaria de la corriente, y estaría desviada, hacia mar adentro, por la corriente de vaciado. Se mantendría paralela a la orilla. Podría comenzar su desarrollo por encima del borde septentrional de la bocana.

En principio, se admitiría la concurrencia de estas dos dinámicas, con sus efectos sedimentarios.

13. De acuerdo con el esquema conceptual descrito, la barra que delimita a la Laguna de Bocaripo, que también es secundaria de la principal, se debió a una carga sedimentaria lagunar. Esta rebasó la capacidad de transporte de la corriente de deriva, a consecuencia de unos condicionantes climáticos, que habrían justificado unos aportes y vaciados importantes, “excepcionales” de áridos, en relación con unas erosiones y transportes de las aguas superficiales (arroyadas y quebradas), hacia la Laguna. Tales aportes favorecieron el desarrollo de una flecha, desde el extremo externo del margen meridional de la bocana. Obviamente, la flecha se apoyó en la orilla de Guayacán.
14. El grado de colonización vegetal va a indicar una cronología relativa, referente al desarrollo de estas flechas, hemiflechas, barras y hemibarras. En este contexto, la “barra” de Bocaripo es, comparativamente, una de las formaciones sedimentarias más antiguas: soporta un mangle bien desarrollado.

La Barra de Bocaripo se pudo haber formado, probablemente, de forma contemporánea con la flecha que determinó el Istmo. Parte de los sedimentos, de las escamas de la flecha, hubieron pasado al sector Sur, de lo que fue el golfo. Estos materiales, junto con otros de procedencia continental, del borde oriental, habrían alimentado la barra de Bocaripo.

El Istmo soportaría, por lo expuesto, un manglar bien desarrollado. Sin embargo, esto no ocurre de forma generalizada, quizás por que no reina unas condiciones oceanológicas de “tranquilidad ambiental”, para el desarrollo de este tipo de bosque.

### 15. La vida de la Laguna principal dependerá:

- De la velocidad de colmatación sedimentaria, en dependencia con los aportes continentales, y con el papel que desempeña la vegetación, en los procesos de erosión, transporte y sedimentación.
- De la rotura del Istmo. Si esto tuviera lugar antes de la colmatación sedimentaria, que hiciese que desapareciera la Laguna, se volvería a la situación de la existencia de una isla, en este litoral (el de Chacopata).

En toda la secuencia de acontecimientos, se supone que hay una plataforma litoral, lo suficientemente suave como para permitir corrientes significativas de deriva.

De todo lo anterior, se deduce:

- Que la Provincia Morfodinámica de Chacopata se extiende desde la cabecera del Istmo oriental hasta rebasada la bocana de la Laguna.
- Y que la erosión del Istmo es un proceso natural, que se puede mitigar, pero sin hacer desaparecer las causas desencadenantes. Se estaría en la fase de reproducir una configuración inicial, por haber cambiado el “signo” de la causa, que rigen estos procesos y efectos.

Por otra parte, este escenario, y esencialmente el istmo, juega un papel logístico, de gran valor estratégico, en el suministro de agua y de electricidad a la Isla de Margarita. De aquí, que resulte lógico estudiar soluciones, que mitiguen la erosión del soporte físico de tales servicios. Además, la playa Oeste de Chacopata representa un recurso de cosecha de pepitonas, base de una industria conservera artesanal, y sirve de campo de experimentación de cultivos de algas, para una industria de obtención de agar. La explotación de estos recursos está condicionada por un soporte físico, que incluye las características sedimentológicas.

Luego, urge tomar medidas de intervención, que aseguren el mantenimiento de servicios a la Isla de Margarita, sin crear conflictos de competencias de usos, por unas secuelas sedimentarias colaterales, derivadas de la intervención.

Las soluciones tendentes a mitigar la erosión del istmo podrían ser, en una primera aproximación, de dos tipos:

a). A partir de defensas de costas en el Istmo (construcción de un muro y/o de un campo de espigones transversales), adecuadamente diseñadas, desde un punto de vista físico, e independientemente de los impactos paisajísticos, que pretendieran estabilizar la orilla. Estas defensas tendrían repercusiones en todo este entorno geográfico:

- El muro, ante oleajes relativamente fuertes, cosa bastante habitual, crearía barreras transversales energéticas, que desviarían los transportes de deriva hacia mar adentro, hasta fondos inactivos.
- Los espigones transversales actuarían de trampas sedimentarias, y favorecerían la formación de ocasionales, o frecuentes rip currents, que también desviarían los áridos hacia los fondos inactivos.

Con estas modalidades de defensas de costas, se debilitan, quizás significativamente, los aportes sedimentarios hacia la cara occidental del litoral, y cabe la posibilidad de que en esta:

- Se modifique la hiper-estabilidad, o estabilidad, sedimentaria de las barras de la bocana y de las hemiflechas.
- Y se alteren las condiciones sedimentológicas del entorno, en relación con las explotaciones que soportan.

b). O mediante la excavación de un cauce artificial, al pie de la ladera meridional de la Laguna, que desembocaría en las proximidades de la cabecera del Istmo.

El cauce recogería las aguas superficiales, de las épocas de lluvia, con su carga de áridos, de las arroyadas y de las quebradas. Así:

- Se impediría la colmatación de la Laguna, y se podría utilizar la pre-llanura de inundación, sin riesgos de inundaciones, en determinados usos compatibles (con indicadores de sustentabilidad que no traduzcan hipoteca de los recursos del entorno).
- Y se debilitaría, en mucho (?) los procesos de erosión del Istmo, al saturarse la capacidad de erosión y de transporte de las corrientes de deriva, durante ciertos periodos de tiempo, que coincidirían con los más erosivos de la dinámica oceanológica litoral.

# C A P Í T U L O 7

## *La clasificación de costas, para el manejo de sus entornos*

### ESQUEMA :

1. Criterios de clasificación. Consideraciones generales.
2. Clasificaciones estructurales o tectónicas.
3. Clasificaciones genéticas.
4. Clasificaciones morfológicas.

### 1. Criterios de clasificación, consideraciones generales.

Han sido numerosos los intentos para clasificar el litoral. Las distintas propuestas se basan en tres tipos de criterios:

- estructurales,
- genéticos, y
- morfológicos.

En las clasificaciones estructurales, el litoral se enmarca dentro de una descripción tectónica del entorno, sin pretender buscar, exhaustivamente, consecuencias morfodinámicas, aunque esto no quiere decir que no las hayan.

Las clasificaciones genéticas parten de los condicionantes, más generales, de los procesos dinámicos, que estén implicados en la erosión, transporte y depósito.

Las clasificaciones morfológicas consideran, sobre todo, los efectos inmediatos y últimos de estos procesos dinámicos.

Se debe hacer notar que, a veces, no están muy claros los límites que separan las clasificaciones genéticas de las morfológicas. Una disociación entre causas y procesos-efectos puede resultar marcadamente incomprensiva. En consecuencia, las clasificaciones morfológicas tendrán, en mayor o menor grado, un componente genético.

### 2. Clasificaciones estructurales o tectónicas

Tradicionalmente se admiten:

- Costas de **tipo atlántico**. Los ejes estructurales de las orogénias cortan ortogonalmente a la línea de costa.
- Y costas de **tipo pacífico**. Los ejes estructurales son paralelos a las costas.

En principio, las costas del “*tipo atlántico*” suelen presentar alternancia de:

- promontorios, y
- ensenadas, o bahías.

Se corresponderían, respectivamente, con los ejes de anticlinales y sinclinales.

En las costas del “*tipo pacífico*”, se favorecen:

- la formación de islas largas, paralelas a la orilla continental, a modo de “cordones”, y
- ensenadas, que se prolongan en la misma dirección.

Las islas serían las expresiones de ejes de anticlinales, y las ensenadas las de ejes de sinclinales.

Inman y Nordstrom (1971) desarrollan una clasificación, conforme con la Tectónica Global. Estos autores proponen la siguiente subdivisión, aunque se han introducido algunas modificaciones:

1. **Costas de colisión.** Están en relación con los límites de subducción. Quedan incluidas las de los arcos islas. Ejemplos: litorales occidentales de las dos Américas y litorales de las islas japonesas.
2. **Costas constructivas.** Se relacionan con las dorsales. Forman varios grupos:
  - **Costas constructivas de neoformación**, por la actividad reciente de los nuevos rifts. Ejemplo: litoral de la Península de Arabia.
  - **Costas constructivas de paleoformación.** Están en dependencia con las dorsales actuales, en donde el litoral se formó hace cientos de millones de años. A su vez, estas pueden ser:
    - a). **Afro-costas.** El escenario pertenece a un continente, que no tiene costas de colisión en el lado opuesto. Ejemplos: litorales occidentales de África.
    - b). **Amero-costas.** Ahora se trata de litorales de un continente, que tiene costas de colisión en el lado opuesto. Ejemplos: litorales orientales de las dos Américas.
3. **Costas marginales.** Comprenden a las costas continentales, enfrentadas a los arcos islas. Ejemplo: litoral oriental de Asia.
4. **Costas sobre fallas de límites no subductivos de placas.**

Como ejemplo, se pueden citar las costas que coinciden, a lo largo de tramos significativos, con los límites de la subplaca del Caribe. Aquí se encontrarían las costas del Estado Sucre (Venezuela), en las proximidades de la falla conocida bajo el nombre de El Pilar.

Se apoyarán en esta clasificación estructural:

- Aquellos litorales que soporten una explotación de recursos minerales
- O determinados rasgos de una cartografía geomorfológica, que sirva para la ordenación, planificación y manejo de territorios.

En el caso de la explotación de minerales del litoral, los recursos dependerán:

- De los procesos sedimentarios, en límites de subducción.
- Y de los procesos eruptivos, asociados a los diferentes tipos de límites de las placas litoféricas. Por ejemplo: volcanismo calco-alcalino en los límites de subducción y toleítico en los constructivos.

En cuanto a la ordenación, planificación y manejo de litorales, esta clasificación permite jugar con una serie de aspectos y criterios, como serían los siguientes:

### **1. En relación con la caracterización urbanística de los núcleos de población.**

En un área de límite activo de placas, hay posibilidad de que aparezcan movimientos sísmicos. A consecuencia de ello, las construcciones habitacionales deberán reunir ciertos requisitos, a saber:

- Ocuparían, prioritariamente, los sectores de suelo urbanizable que se comporten como "compactos". En tales lugares, se dificultarían los procesos de resonancia (en este caso, las acumulaciones de energía, que pudieran provocar efectos desastrosos a partir de unos determinados umbrales).
- Alcanzarían poca alturas.
- Se fabricarían con materiales apropiados. Se eliminarían las fachadas en cristaleras, por los riesgos que provocarían la caída de una lluvia de sus fragmentos, sobre unos habitantes que tienden a salir a la calle.
- Estarían preparados para aguantar aceleraciones excepcionales. Así, no se derrumbarían frente a temblores medianos y relativamente fuertes.

- Y configurarían calles y avenidas amplias. Las relaciones entre la “**altitud de los edificios**” y la “**amplitud de las vías**” dejarían espacios libres de caída de escombros (zonas de refugio, a cielo abierto).

**2. En relación con las localizaciones y especificaciones de construcción de mega estructuras, sobre todo de carácter estratégico.**

Los riesgos que supondrían la probabilidad de presentación de movimientos sísmicos, y/o de actividades eruptivas, son unos condicionantes muy significativos, a la hora:

- de diseñar trazados,
- de seleccionar tipos de materiales a emplear, y
- de establecer unas normativas de seguridad, una vez hechas las intervenciones.

**3. En relación con el conocimiento y comprensión de los comportamientos geomorfológicos de los territorios, controlados por una Tectónica Global.**

De esta manera, se estaría en condiciones para poder abordar los rasgos geomorfológicos y los comportamientos inesperados, de determinados escenarios geográficos, lo que facilitaría usufructuarlos adecuadamente. Concepciones equivocadas implicarían diseños de proyectos y realizaciones de intervenciones inapropiadas.

Sirva de ilustración la desembocadura del Río Manzanares, en Cumaná (Oriente de Venezuela). Por sus:

- importantes caudales,
- abundantes aportes sedimentarios, en dependencia con una cordillera litoral erosionable,
- la tranquilidad de las aguas, de un litoral resguardado de los oleajes dominantes,
- y los rangos poco potentes de las mareas (50 centímetros o menos),

se esperaba un comportamiento que se ajustara, en mucho, a un delta. En cambio, aquí se observan unas pausas de estuario. La explicación se encontraría en que hay una fuerte solicitud de aportes sedimentarios, hacia mar adentro, a causa de un sumidero, que supone la presencia de una profunda fosa (Fosa de Cariaco), en las proximidades de este entorno. Las vigorosas corrientes marinas, en el Golfo de Cariaco (no confundir la Fosa con el Golfo), serían el “vector” que transportaría los sedimentos, desde la desembocadura del Río Manzanares.

Luego, una enérgica solicitud sedimentaria y unos medios suficientemente capacitados de transporte sustituyen los condicionantes de unas aguas agitadas y de unas fuertes mareas, para que en la desembocadura de un río caudaloso, con grandes acarreo sedimentarios, se dé un ambiente estuarino, y no deltáico. Y estas condiciones sustitutorias, en el caso que se analiza, vienen impuestas por una fosa (la Fosa de Cariaco), en estrecha dependencia con los límites meridionales de la Placa Caribeña, que desarrolla importantes fallas.

Y el tratamiento de una desembocadura de río, a cuanto a su manejo, es muy diferente, según como tienda a comportarse: como estuario o como delta.

**4. Y en relación con los procesos remodeladores del relieve, ligados a cambios súbitos eruptivos y/o de movimientos sísmicos, propios de límites activos de placas.**

Tales procesos geomorfológicos, con sus efectos, podrían incidir en los equilibrios ecológicos de los “sistemas territoriales”. Y las variables, que dirigen los equilibrios ecológicos, siempre se deben considerar, en la ordenación, planificación y manejo de unidades ambientales.

### **3. Clasificaciones genéticas.**

Se consideran, como ilustrativas, dos concepciones diferentes de clasificaciones genéticas de las costas, aunque interdependientes:

- clasificaciones conforme con los cambios relativos del nivel del mar, y
- clasificaciones conforme con la dinámica oceanológica de orilla.

### a). Clasificaciones conforme con los cambios relativos del nivel del mar.

Valentín (1952) clasifica al litoral en:

- Costas de **emersión**. Se favorecen, sobre todo, el transporte y la deposición sedimentaria.
- Y **costas de inmersión**, llamadas también de subsidencia. En este caso, se favorecen los procesos y efectos de erosión.

Las causas están en los movimientos epirogénicos y/o eustáticos, que implican, a su vez, procesos y efectos de regresión y transgresión marina.

Para Gutierrez et al. (1982), esta clasificación, aunque tentadora, no es totalmente satisfactoria, por los siguientes hechos:

1. Existen litorales de los que se dispone de la información suficiente como para clasificarlos de acuerdo con otros criterios, independientemente de que sean de hundimiento o no.
2. En la actualidad, se tiene la seguridad de que se está en la transgresión Flamenca (última del Cuaternario). Luego, según este criterio, con las debidas precauciones y limitaciones, la casi totalidad de los litorales serían de hundimiento. Se exceptuarían los litorales de levantamiento tectónico muy reciente (neotectónica), que no dejan de ser casos puntuales, y otros, por otras causas.
3. La existencia de fallas puede implicar que un mismo litoral tenga tramos de hundimiento y tramos de levantamiento. Pero estos son también casos particulares de la neotectónica, referidos anteriormente.

En relación con una clasificación de las costas, conforme con procesos de emersión - inmersión, se juega con una serie de criterios, para datar paleo - líneas costeras, que incluyen a paleo - playas sumergidas, playas levantadas y rasas.

De acuerdo con Zeuner (1958), dentro de los últimos 150 000 años, quedan huellas de las más recientes transgresiones marinas, en abundantes zonas costeras, que emergen en el margen continental del Atlántico Oriental:

- Inglaterra,
- Islas del Canal de la Mancha,
- Portugal,
- Marruecos,
- etc.

Estas huellas consisten en rasas y depósitos sedimentarios marinos (playas levantadas), a diferentes altitudes. Al efecto, se hablan de las paleo - líneas costeras:

- de los 15.0 - 20.0 metros (Monastiriense Inferior),
- de los 07.0 - 10.0 metros (Monastiriense Superior), y
- de los 03.5 - 05.0 metros (Epimonastiriense).

Dado que las divisiones del Cuaternario, con sus ciclos climáticos, no tienen las mismas denominaciones en todos los países, conviene tener presente las diferencias - equivalencias más significativas, como recoge Cuerda (1989).

Las paleo - líneas costeras descritas, según criterios altimétricos, se identifican en Canarias (España). Zeuner (1958), las correlacionan:

- con las del Norte de África,
- con las de la Península Ibérica, y
- con las del resto de Europa.

En este corto intervalo de tiempo, y en ausencia de deformaciones tectónicas, los movimientos epirogénicos no harían más que modificar ligeramente el trazado altitudinal de las costas que, sin embargo, presentan, en este

sentido, regularidad. Ello, aparentemente, sería una prueba de la relativa estabilidad tectónica de las Canarias, desde el Cuaternario reciente.

Los criterios altimétricos no se pueden usar de forma definitiva, como lo hace Zeuner (1958). El nivel del mar y, en consecuencia, las posiciones de las playas levantadas y rasas dependen de factores no considerados por el anterior autor. Entre estos otros factores, se encuentran:

- la tasa de alimentación de agua,
- la incidencia de la forma del geoide, y de otros factores físicos,
- la intervención de la neotectónica, en un ámbito local,
- y las deformaciones de los fondos oceánicos, dentro de un ámbito regional.

Descripciones muy someras de estos factores serían:

### **1. Tasa de alimentación de agua:**

En los periodos cálidos interglaciares, no siempre se produce la misma cantidad de agua, procedentes del deshielo.

Según Cuerda (1989), para el entorno de las Islas Baleares (España), y dentro del Würm, se identifican dos periodos relativamente más cálidos. En el segundo de ellos, hay una mayor temperatura que en el primero. Luego habría una mayor transgresión marina en este segundo periodo. Esto originaría que las playas levantadas y rasas, correspondientes al segundo periodo, se encuentren posicionalmente más altas que las del primero. De esta manera, se da la paradoja de que playas más modernas se localicen a cotas superiores, que otras más antiguas. Esto hace recordar a las “terrazas” levantadas de la Isla de La Blanquilla (Venezuela), pero en este caso, se debe a la actividad de arrecifes coralinos, respecto a una transgresión marina.

Si los procesos de deshielo determinan pautas similares en el nivel del mar, del Atlántico Norte, queda en entredicho las dataciones altimétricas de Zeuner.

### **2. Incidencia de la forma del geoide y de otros factores físicos:**

La cantidad de agua procedente de la fusión de los hielos, en una primera aproximación, se distribuiría uniformemente en la masa acuosa, que forman los océanos y mares intercomunicados, lo que produciría una transgresión homologable altimétricamente.

Dado que los materiales internos de la Tierra no se distribuyen en superficies concéntricas homogéneas, se producen atracciones diferenciales en los distintos puntos de la Hidrosfera (efecto que se podría considerar del tipo “isostático”).

La atracción diferencial sobre una nueva capa añadida de agua, procedente del deshielo, determina que la nueva superficie acuosa sufra, a su vez, incrementos diferenciados de altitudes.

Además, el volumen de una masa de agua, en un punto dado de su columna, depende:

- Del número de capas que soporta (efecto de la presión de carga).
- Y de la energía calorífica que recibe. Esta energía está condicionada por las anomalías geotérmicas y por el clima regional (radiación solar característica incidente y efectos de las corrientes atmosféricas y marinas de la zona).

A las anteriores deformaciones, por efectos gravimétricos y de presión - temperatura, hay que añadirles las que producen las células convectivas de las corrientes marinas, en corte transversal. La confluencia de todo lo anterior determina que unas playas y/o rasas contemporáneas, sin que existan modificaciones por neotectónica del soporte físico, alcancen altitudes diferentes, según sus localizaciones geográficas.

### **3. Los procesos de neotectónica:**

La neotectónica se refiere a la serie de movimientos (deformaciones continuas y discontinuas), que soportan los materiales terrestres, en tiempos muy recientes, o actuales.

Estos movimientos provocan cambios en las posiciones iniciales de playas levantadas y de las rasas, dentro de entornos no muy alejados.

La confluencia de transgresiones eustáticas y de la neotectónica puede determinar:

- Que playas levantadas, o rasas, se encuentren a cotas más elevadas de las esperadas.
- Que se localicen a cotas inferiores a las que se formaron.
- Que la resultante sea una regresión local, en un periodo de transgresión generalizada.
- Y, como estos procesos de neotectónica pueden ser muy locales, que aparezcan anomalías posicionales en playas levantadas y rasas, dentro de ámbitos geográficos restringidos.

En las Islas Canarias (España), como en otros escenarios geográficos (por ejemplo, en las Islas del Estado de Nueva Esparta y en el litoral de Chacopata, en Venezuela), los procesos de neotectónica son de esperar, ya que:

- Las islas Canarias descansan en una serie de bloques oceánicos levantados activos, en dependencia con la dinámica de extensión de los fondos oceánicos, desde la dorsal Centro - Atlántica.
- Y las Islas del Estado de Nueva Esparta y Chacopata se encuentran sobre fallas de la Placa del Caribe, que están en plena actividad.

En el caso concreto de Canarias, en periodos de una menor actividad de extensión de los fondos oceánicos, los bloques levantados bascularán, como respuesta a los procesos de descarga erosiva, o a los procesos de acumulaciones de materiales volcánicos. En el primer caso, habrá levantamiento y, en el segundo, hundimiento. Todo ello lleva consigo cambios posicionales de playas levantadas y/o rasas, ya formadas. Las cartografías del Complejo Basal emergido, en las islas de Fuerteventura, de La Palma y de La Gomera verifican la neotectónica en Canarias.

#### 4. Deformaciones de los fondos oceánicos:

A diferencia del epígrafe anterior, estos factores tienen, por lo menos, una incidencia a nivel regional, y no quedan restringidos a entornos locales.

Aquí, el factor más significativo quizás sea el hundimiento y extensión del fondo marino, que implicaría un aumento de la capacidad de almacenamiento de agua en la cuenca. Ante un volumen casi constante de agua disponible, ésto supondrá un descenso regional del nivel del mar.

En el contexto de la extensión oceánica, con su potencial descenso del nivel del mar, hay una compresión lateral en la corteza, o litosfera. Los esfuerzos convergentes pueden formar y/o reactivar posibles bloques levantados, que resuelvan, localmente, problemas de espacio. Así confluyen, en el espacio y en el tiempo, dos mecanismos que, aunque de signos contrarios en la vertical, convergen en el sentido de favorecer el levantamiento de playas y rasas.

Otro factor, que puede producir deformaciones en los fondos de los océanos, con sus consecuencias en los cambios del nivel del mar, se identifica con importantes procesos de sedimentación, en dependencias con la destrucción de extensos y potentes relieves continentales.

Hay metodologías de datación de paleo - playas, que se basan en los contenidos faunísticos de los depósitos. Si se datan paleo - playas, de forma relativa, se pueden situar en el tiempo, asimismo, las superficies de apoyo, sean o no rasas, de estas formaciones sedimentarias.

En el entorno canario, y según algunos autores, el fósil de datación de las paleo - playas es el **STROMBUS BUBONIUS**. Sin embargo, y de acuerdo con la discusión que, sobre el ciclo Tirreniense, tuvo lugar en la Octava Reunión sobre el Cuaternario (septiembre de 1991), éste corresponde a un fósil de facies más que a uno característico.

Conforme con el documento base de esta discusión (Zazo, 1991), Issel aplica el nombre de Tyrrheniense a “la secuencia de estratos que, además de contener *Strombus bubonius*, junto con una fauna senegalesa bien representativa, ocupaba un cierto espacio de tiempo, entre el Siciliense y el Holoceno de la costa italiana”.

Este término faunístico identifica unas condiciones ambientales, en donde las connotaciones cronológicas son más bien aproximaciones colaterales. El *Strombus bubonius* define unos ambientes muy específicos de salinidad y temperatura. Actualmente, esta especie vive en el área del Caribe.

Para Meco (1991), El *Strombus bubonius* de las playas levantadas de Canarias da una datación de menos cien mil años. Pero, por todo lo anterior, esta datación hay que tomarla con ciertas limitaciones.

En el documento de Zazo (1991), se recoge que Bonifay y Mars (1959) subdividieron el Tirreniense en:

- Paleotirreniense, de provisto de una fauna característica.
- Eutirreniense, que engloba el *Strombus bubonius*, y al que atribuían una probable correlación con el interglacial Mindel - Würm.
- Y Neotirreniense, que carecía de *strombus bubonius*, pese a tener fauna senegalesa.

En 1969, Cotechia y col. (Zazo, 1991), introducen el término “Neoortotirreniense”, para denominar a un nivel marino Pre-Holocénico, más reciente que el Neotirreniense.

En general, y en publicaciones de la última década, muchos autores identifican el término Tirreniense con el último interglacial. Dentro de éste, a los estratos con *Strombus bubonius* se les atribuye una edad entre -177 800 y -90 000 años B.P., a partir de dataciones con fission track.

Cuerda (1989), para las Islas Baleares (España), correlaciona los pisos del Tirreniense con las posiciones altimétricas que alcanzan las playas y/o rasas levantadas. De esta manera, establece las siguientes correlaciones:

Flandriense .....	04 metros.
Neotirreniense .....	05 metros.
Eutirreniense .....	15 metros.

que, sensiblemente, coinciden con los criterios altimétricos de Zeuner (1958).

Estas correlaciones, válidas para Baleares, y que se podrían extrapolar a Canarias, hay que tomarlas con una serie de precauciones, según las formulaciones de las discusiones precedentes.

#### **b). Clasificaciones conforme con la dinámica oceanológica de orilla.**

Sánchez Arcilla (1984) propone y aplica una clasificación genética muy simple de las costas, que resulta bastante operativa, dentro de un estudio morfodinámico de las playas.

Para este autor, el litoral se subdivide en:

- **costas de acantilados**, y
- **costas sedimentarias**.

Las costas de acantilados evolucionan:

- en función de las litologías, estructuras y disposiciones espaciales de los estratos, o coladas,
- y conforme con los agentes de erosión (marinos y/o terrestres), que actúan sobre los acantilados y con los “vectores” de transporte, para evacuar los sedimentos que se forman.

Las costas sedimentarias se identifican con las playas. Sus depósitos evolucionan con escalas de tiempo menores, respecto a la evolución de los acantilados. Las formas de los depósitos dependen:

- En primera instancia, de las características y disponibilidades de material sedimentario.
- Pero también juega un papel importante la Meteorología e, inducida por esta, el Clima marítimo.

El oleaje, a partir del cual se define el Clima marítimo, es la sollicitación ambiental más espectacular y energética, que incide sobre las costas sedimentarias. Las olas representan al principal agente de erosión y transporte de sedimentos, ya sea directamente, o indirectamente, a través de las corrientes que determinan.

Dentro de este esquema, las playas forman dos grupos:

- **playas de transporte libre**, y
- **playas de transporte impedido**.

Se entiende como litorales de transporte libre aquéllos 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.

El litoral catalán de El Maresme, en el Estado Español, de unos 60 kilómetros de longitud, constituía un buen ejemplo de litoral de transporte libre, antes de la construcción de puertos comerciales, puertos deportivos, muros de defensa, espigones y otras obras marítimas, dentro de su escenario geográfico.

En el entorno de las Islas Canarias, la sucesión de las bonitas caletas de Los Papagayos de Lanzarote muestra un litoral de transporte impedido.

El Estado Aragua (Venezuela), en su fachada marítima, a lo largo de unos 50 kilómetros, se han desarrollado una serie de playas arenosas, aproximadamente kilométricas, “en bolsillo”. De Este a Oeste se suceden:

- Playa de Puerto Maya,
- Playa de Punta Tuja,
- Playa de Cepe,
- Playa de Chuao,
- Playa de Valle Seco,
- Playa Grande,
- Playa de Aroa,
- Playa de Urícaro,
- Playa de Cuyagua,
- Playas de la Ensenada de Cata,
- Playas de la Bahía de Ocumare de la Costa, y
- Playas de la Bahía de Turiamo,

separadas por espectaculares acantilados y/o laderas. La espectacularidad se debe:

- a la abruptividad que se alcanza, y
- a las caprichosas formas, dibujadas por los rasgos estructurales de las rocas.

En conjunto, se define otro ejemplo de litoral de transporte impedido.

En muchas de estas playas de Aragua, convergen:

- un bosque tropical significativo, que configura el Parque Nacional Henri Pittier, y en donde se ubican, de forma sostenible, haciendas de “el más fino cacao del mundo”,
- quebradas, o cauces de ríos, normalmente con agua,
- formaciones de arrecifes coralinos,
- arenas rubias, que soportan frondosos bosquetes “en alineamiento” de cocoteros,
- y unas aguas marinas azules y cristalinas.

Todo esto hace que el litoral de Aragua constituya un territorio de especial interés, en un manejo ambiental. Y de aquí que se deba estudiar minuciosamente los procesos y efectos de la Geomorfología Ambiental, que explica la formación y el desarrollo de esta playas, de transporte impedido.

Los factores que determinan que un litoral se comporte de transporte libre o impedido se clasifican en:

- fundamentales , y
- secundarios.

Entre los **factores fundamentales** se encuentran los siguientes:

### ***1. 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.

**2. Barreras energéticas transversales hacia mar adentro.**

Estas barreras se pueden dar por la reflexión de oleajes, con 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.

**3. 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):

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

donde:

V = volumen de sedimentos (m<sup>3</sup>), 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.

$\rho_s$  = densidad del sedimento.

$\rho_w$  = 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.

$\alpha b$  = 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:

**a). 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.

**b). 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 importante.

### c). *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.

## 4. Clasificaciones morfológicas

A grandes rasgos, y de acuerdo con Alexander (1966), el litoral se subdivide en cuatro tipos, agrupados de dos en dos, a modo de alternativas:

- abrupto, o bajo,
- de planta regular, o de planta irregular.

Una planta regular es cuando no hay ni entrantes ni salientes significativos. En caso contrario, el litoral dibujaría una planta irregular.

Esta clasificación se puede desarrollar:

- en lo diferente al alzado, con el esquema de Ottmann (1965), y
- en cuanto a la planta, con los criterios de Shepard (1973).

Ottmann (1965) distingue dos tipos básicos de costas:

- **costas abruptas**, y
- **costas bajas**.

En las primeras, el perfil emergido se enlaza con la llanura abisal, sin una plataforma continental intermedia.

En las costas bajas, a la topografía emergida le sigue una amplia plataforma continental, que puede incluir extensas superficies de abrasión.

Las costas abruptas forman un sólo grupo (grupo A), que contiene, en principio, dos subgrupos:

- A<sub>1</sub>: litorales con fallas.
- A<sub>2</sub>: litorales de laderas volcánicas, en islas oceánicas.

Los litorales de laderas volcánicas, el subgrupo A<sub>2</sub>, se clasifican, a su vez, en tres categorías:

- Suaves (A2-1). Se identifican plataformas litorales significativas de abrasión, con o sin deposiciones sedimentarias. No llegan a alcanzar las amplitudes de las plataformas continentales. Por la regresión marina, estas plataformas pueden emerger y formar extensas rasas, que, por otros procesos y efectos superpuestos, pueden tomar características de glaciares litorales, según la definición de Martínez (1990).
- Abruptas (A2-2). Prácticamente están ausentes las plataformas litorales.
- Intermedias (A2-3). Corresponden a las situaciones de transición, entre los dos casos anteriores.

Las costas bajas forman cuatro grupos:

- Grupo B. Litorales de acantilados, con plataformas someras de abrasión, que se prolongan en la plataforma continental. Hay ausencia de una transgresión marina.
- Grupo C. Los litorales de acantilados están afectados por una importante transgresión marina. Consecuencia de ello, las plataformas de abrasión son profundas. Éstas se prolongan en la plataforma continental.

El grupo C está conformado por dos subgrupos:

- C<sub>1</sub>. Es el caso general. No se encuentran impresos procesos y efectos de remodelado, por la inmersión.
- C<sub>2</sub>. Representa al caso particular de los litorales con fiordos o rías, donde el relieve antecedente se le superpone procesos y efectos de erosión, transporte y depósito, de la dinámica marina.

- Grupo D. El relieve emergido se prolonga en una plataforma “inicial” sumergida, no muy regularizada, de forma general, por la erosión del mar. Los perfiles litorales externos suelen presentar morfologías accidentadas. Estos litorales se relacionan con una transgresión reciente. No habría habido tiempo suficiente para un modelado significativo, en dependencia con la invasión marina.
  - Grupo E. Comprende aquellos casos en donde la llanura litoral emergida y una plataforma continental próxima forman parte de una sola estructura “consecuente” erosiva - sedimentaria. No hay ruptura significativa de pendiente, en el cambio de ambiente emergido a ambiente sumergido. Esta estructura bordea a la llanura abisal. Los deltas, entre otras modalidades de costas, son ejemplos representativos.
- Este grupo se podría subdividir en subgrupos, con el empleo de criterios adecuados.

Shepard (1973) y otros autores, y dentro de un contexto morfológico, clasifican a las plantas de los litorales en:

- **primarias**, y
- **secundarias**,

según tengan formas antecedentes o consecuentes respectivamente. No quedan excluidas las situaciones intermedias.

Se entienden por formas **antecedentes**, iniciales o jóvenes, del litoral aquellos relieves que no están contruidos, de una forma decisiva, por la dinámica marina. En cambio, las formas **consecuentes**, o maduras, de este espacio geográfico, corresponden a los relieves contruidos, básicamente, por la acción del mar.

Dentro de las primarias, se pueden enumerar, a modo de ejemplos:

- las costas de llanuras glaciares, y
- las costas de volcanes.

Ejemplos de costas secundarias serían:

- costas de acantilados y de plataformas de abrasión,
- costas de playas, y de ambientes sedimentarios marinos, en general,
- costas de estuarios,
- etc.

Las costas de rías y de fiordos, entre otros ejemplos, representan a relieves mixtos: primarios, muy remodelados por las solicitudes marinas.

Un litoral tiende a pasar de plantas irregulares a rectificadas, y viceversa. Si se parte de formas antecedentes, es decir, de una orilla que no debe nada al mar (litoral juvenil, normalmente accidentado), las solicitudes marinas suelen producir la erosión de los promontorios (salientes hacia el mar), y colmataciones sedimentarias entre estos. De esta manera, la evolución del litoral, en unas primeras fases, conlleva a su rectificación, y se obtiene una **madurez de primer orden**.

Cuando se ha logrado una rectificación de primer orden, el conjunto retrocede.

En el caso de que:

- haya un equilibrio entre los procesos de erosión, transporte y sedimentación,
- y no se den heterogeneidades litológicas - estructurales,

la rectificación se mantiene en este retroceso, y el litoral se clasifica como **estabilizado**, aunque dentro de la dinámica descrita.

Sin embargo, en un litoral no siempre tienen lugar unos procesos y efectos morfodinámicos en equilibrio. Cuando el oleaje actúa sobre materiales heterogéneos (blandos y duros, con o sin determinadas estructuras, fracturas, u otros rasgos), unos sectores son atacados más rápidamente que otros, con lo que se forman promontorios hacia el mar y entrantes hacia tierra. Se llega, por lo tanto, a una **planta irregular, de segundo orden, muy recortada**.

Sobre este otro litoral irregular, de segundo orden, de nuevo los procesos de erosión, transporte y depósito pueden conseguir una **regularización morfológica**, también **de segundo orden**.

El litoral, ante la presencia de la heterogeneidad litológica - estructural, alcanzaría, otra vez, una planta irregular, para más tarde volver a la rectificación, y así sucesivamente.

Obviamente, entre fases morfológicas extremas, se darían situaciones de transición.

A partir de los anteriores criterios, se diseña el siguiente esquema de morfología, que recoge la evolución de un litoral, en principio, dentro de cuatro tipologías:

### I. Litorales de planta irregular:

- Juveniles o iniciales.
- De segundo orden.

### II. Litorales rectificadros:

- De madurez de primer orden.
- De madurez secundaria.

### III. Litorales estabilizados en retroceso.

### IV. Litorales de transición:

- Modalidad 1: De juvenil a de rectificación de primer orden.
- Modalidad 2: De rectificación de primer orden a de planta irregular de segundo orden.
- Modalidad 3: De planta irregular de segundo orden a rectificación de segundo orden.
- Modalidad 4: Inversa a la de la modalidad 3.

La Isla de El Hierro (Canarias, España) presenta ejemplos de estas diferentes fases morfológicas de un litoral:

1. Las erupciones históricas basálticas de Lomo Negro determinan un litoral juvenil o inicial, en la Hoya de El Verodal. Se caracteriza por coladas que llegan a la orilla.
2. El volcanismo reciente basáltico describe litorales de transición, entre juveniles y maduros de primer orden, aunque mucho más próximos a los primeros. La orilla está configurada por conos volcánicos de cinder y/o de coladas. Estos litorales se localizan en:
  - Tamaduste,
  - Charco Manso,
  - zona del Faro de Orchillas,
  - Zona de la Punta de la Sal, y
  - Los Lajiare (entre La Restinga y la Hoya del Tacorón).
3. Y las series Intermedias y Antiguas (segundo ciclo volcánico), de rocas basálticas y traquibasálticas, ya han evolucionado, sectorialmente, a litorales maduros de primer orden. Están bien dibujados en:
  - El Golfo,
  - La Caldera de Las Playas, y
  - El Julán.

Los dos primeros sectores adquieren arqueamientos, que dependen de factores tectónicos (?).

La velocidad de la evolución morfológica de un litoral dependerá:

- De los condicionantes y dependencias oceanológicas: frecuencia y magnitud erosiva de los temporales, rango de las mareas, tipología de los diagramas de transporte, etc.
- Y de los condicionantes y dependencias litológicas, básicamente de la naturaleza de los diferentes

materiales, de las estructuras y de cómo responden frente a las solicitudes oceanológicas. Así se explican los procesos de erosión y las disponibilidades de áridos, para el transporte y el depósito sedimentario.

Pero además, hay circunstancias de bloqueo. Sea el supuesto de una orilla madura, con unos promontorios de materiales duros (competentes), que tienen unas dimensiones y espaciados adecuados para delimitar playas naturales “estables”, en bolsillo, de arenas y gravas (materiales inestables). Estos áridos disipan la energía de los oleajes, y pueden desacelerar, o anular, la erosión de los materiales, que se encuentren en la espalda de la playa, hacia tierra. En este tramo del litoral habría un bloqueo en su evolución, independientemente de las características litológicas de los materiales de la trasplaya. No obstante, en la realidad, se tendría que contar con otra variable: con los procesos y efectos controlados por el cambio medio del nivel del mar, en el litoral en cuestión.

## C A P Í T U L O 8

### *Procesos y efectos de la erosión, en relación con el manejo del litoral y de otros territorios*

#### E S Q U E M A :

1. Interés del estudio de las formas del relieve, en un territorio litoral.
2. Formas antecedentes, consecuentes y mixtas.
3. Condicionantes, dependencias y mecanismos en la formación del relieve litoral.
4. Las “cuñas de erosión” de Suárez Bores, y sus limitaciones, para explicar retrocesos de acantilados y desarrollos de plataformas de abrasión.
5. Ejemplo de análisis de idoneidades de acantilados, para intervenciones de desarrollo. El caso del Acantilado de Guacuco (Isla de Margarita, Venezuela), ¿un territorio cancerígeno?.
6. Las costas rocosas como recursos de esparcimiento.
7. Los relieves de las grandes formas de erosión diferencial. El caso del Escudo Guayanés (Venezuela), con sus tepuys.

#### **1. Interés del estudio de las formas del relieve, en un territorio litoral**

El interés de identificar, observar, clasificar e interpretar las formas del relieve litoral se entiende a partir de las siguientes consideraciones, entre otras:

##### **1. Los barrancos, ramblas, quebradas y otros tipos de cauces de aguas superficiales, de régimen:**

- estacional,
- esporádico, o
- inusitado,

representan a los “alcantarillados de la Naturaleza”. Las obstrucciones de los mismos, por intervenciones urbanísticas, o de cualquier otra clase, pueden traer graves consecuencias, incluida los problemas de seguridad del hombre y de sus obras. De ahí que conocer y comprender la dinámica de estas formas del relieve sean requerimientos básicos, que evitarían los riesgos de las inundaciones en asentamientos, entre otras cosas.

2. Los usos de los territorios están determinados por una serie de variables, entre las que se encuentran las características topográficas de las laderas, con sus procesos y efectos de erosión. La erosión habría que tomarla en sentido amplio, para que tuviera cabida la probabilidad de presentación y peculiaridades de los movimientos del terreno, con sus condicionantes y dependencias.
3. Los desprendimientos y retrocesos, en general, de los acantilados son comportamientos naturales que se deben tener en cuenta, en la:
  - ocupación externa (pie de los acantilados), y/o
  - interna (techo de coronación),

en relación con el usufructo de estos territorios.

### 4. Las rasas pueden:

- soportar actividades agrícolas, y/o
- permitir la explotación de posibles recursos no renovables (de áridos),

conforme con sus características, y por eso conviene estudiarlas geomorfológicamente, y elaborar sus historias morfodinámicas.

### 5. Las caletas:

- pueden determinar posibles playas arenosas “en bolsillo”, y
- condicionar la dinámica de las playas en general,

lo cual implica incluirlas dentro de las variables de contorno, en una morfodinámica litoral, con fuertes connotaciones sedimentarias, respecto a la catalogación y explotación de los recursos playeros.

6. El conjunto de formas configuran la diversidad topográfica de los parajes en análisis, y esto es parte de los componentes de la arquitectura del paisaje. Para llegar a una cualificación de un paisaje, que es un paso previo para las propuestas de un usufructo al respecto, se precisa considerar todos y cada uno de los componentes de la arquitectura paisajística.

7. Pero sobre todo, una Geomorfología centrada en las formas del relieve, constituye el punto de partida para diseñar una cartografía morfodinámica, que soporte la delimitación, a grandes rasgos, de unidades ambientales. Esto es fundamental para la ordenación, planificación y manejo de un territorio.

## 2. Formas antecedentes, consecuentes y mixtas

Se entienden por formas **antecedentes**, iniciales o jóvenes, del litoral aquellos relieves que no están contruidos, de una forma decisiva, por la dinámica marina. En cambio, las formas **consecuentes**, o maduras, de este espacio geográfico, corresponden a los relieves contruidos, básicamente, por la acción del mar. Las formas mixtas son aquellas en donde, sin perder todavía las señas de identidad de un modelado sub-aéreo emergido, se identifican ya, significativamente, las huellas de la dinámica marina.

### 1. Formas antecedentes inventariables en el litoral canario (España).

Las formas significativas corresponden a:

- desembocaduras de barrancos,
- edificios volcánicos y subvolcánicos, y
- coladas que alcanzan la orilla, con o sin grandes tubos volcánicos, dentro del ámbito litoral.

Las desembocaduras de los barrancos, respecto al eje del cauce, definen relieves transversales:

- en “v”,
- tipo rambla, y
- en “u”, por el desarrollo de depósitos, próximos a piedemontes, que solapan a las laderas de erosión.

Entre los edificios volcánicos y subvolcánicos, que caracterizan a relieves antecedentes, son frecuentes los siguientes:

- conos volcánicos,
- calderas, incluidas los grandes cráteres,
- domos, y
- diques.

Los domos, a su vez, de acuerdo con la sistemática de Martínez (1984), se clasifican en:

- domos de efusión sin raíces,
- domos intrusivos, y
- domos extrusivos, que se subdividen en exógenos y endógenos.

Las coladas que llegan a la orilla, normalmente poco potentes, pueden determinar morfologías tipo “deltas”, tanto emergidas como sumergidas. Las últimas se identifican, en cartografías, por las “anomalías” batimétricas que originan. En la zona intermareal, se desarrollan elementos morfológicos secundarios (erosivos), sin que pierdan el carácter de “relieves antecedentes”. Entre estos elementos, se encuentran:

- descostramientos, sobre todo si las coladas tienen cortezas escoriáceas,
- pasillos de erosión, denominados también culatones,
- charcones y pequeñas oquedades superficiales, y
- socavones.

Se entiende por **pasillos de erosión** (Martínez, 1985) unos “entrantes angostos, desarrollados a partir de primitivas franjas de debilidad”. Generalmente se encuentran socavados.

En el litoral, los grandes apilamientos de coladas (plateaux) suelen estar asociados con los acantilados y con las cortadas, pero estas formas representan ya a modelados consecuentes.

Entre los muchos ejemplos de litorales, con fuertes rasgos de relieves antecedentes, de origen volcánico, quizás uno de los más ilustrativos sea el de Fuencaliente, en la isla de La Palma. Allí, las formas corresponden a las erupciones basálticas de 1971, del Teneguía. Están representados:

- los conos volcánicos, principalmente los de piroclastos, y
- las coladas, que llegan al mar.

La erosión marina aún no ha tenido tiempo de dejarse notar significativamente.

## 2. Formas consecuentes para las islas oceánicas mesotérmicas sub-húmedas.

A partir de una modificación de Martínez (1985), se sistematizan las formas consecuentes de la siguiente manera:

**a). Grandes formas.** Tienen estrechas dependencias entre si. Se pueden enumerar:

- acantilados, y
- plataformas costeras.

**b). Formas normalmente subordinadas a las grandes formas.** Se corresponden con los elementos morfo-dinámicos secundarios. Se pueden establecer dos subgrupos:

- formas subordinadas a los acantilados, y
- formas subordinadas a las plataformas costeras.

Se definen a los **acantilados** como unos “resaltes emergidos del litoral de la erosión marina, que alcanzan fuertes pendientes, en principio superiores a un 100 %”. Pueden llegar a la posición vertical, o hasta situaciones de contra-pendiente. Las alturas pueden ser variables.

En rocas volcánicas, reciben el calificativo de “en órganos” cuando en sus frentes se observa una sobresaliente disyunción columnar.

Las **plataformas costeras** definen a superficies de pendientes suaves, formadas, normalmente, a partir del retroceso de acantilados, o de la orilla en general. Estas formas se distribuyen en varias modalidades:

- **Plataformas de abrasión.** Emergen durante la bajamar, si no están muy desgastadas.
- **Plataformas sumergidas.** Son superficies someras, que no emergen durante la bajamar. Suelen representar a la prolongación externa de la plataforma de abrasión.
- **Rasas.** Se identifican con antiguas plataformas costeras, que se encuentran emergidas por la regresión marina (eustática y/o epirogénica).
- Y **plataformas costeras fosilizadas.** Consisten en simples plataformas costeras, pero que están recubiertas por materiales volcánicos y/o sedimentarios, independientemente estén emergidas o sumergidas.

Los elementos morfológicos, frecuentemente subordinados a los acantilados, se pueden inventariar como sigue, según una secuencia ordenada alfabéticamente:

- arcos,
- bancos esculpidos,
- bloques de erosión,
- cornisas,
- cresterías, en la base de superficies de erosión,
- covachas,
- grutas,
- hervideros o bufaderos,
- monolitos isleos marinos,
- paredones isleos,
- pequeñas oquedades (pilancones) y charcones (manitas de gigante, en las plataformas asociadas de erosión,
- portillos,
- socavones, y
- taffonis - alvéolos marinos.

Los elementos morfológicos secundarios, más característicos, de las plataformas costeras son:

- los monolitos isleos marinos,
- los pilancones, y
- las cresterías.

Los elementos morfológicos secundarios indicados admiten las siguientes definiciones:

### **Arcos marinos:**

Restos de promontorios en los que las olas y corrientes socavan sus frentes laterales opuestos, hasta que se comunican entre sí.

### **Bancos esculpidos:**

Plataformas de abrasión levantadas, recortadas lateralmente, y con cabeceras en acantilados.

### **Bloques de erosión:**

Grandes fragmentos de rocas, redondeados por desgastes erosivos, procedentes de los frentes de relieve emergido, y normalmente a los pies de los acantilados.

### **Cornisas:**

Salientes horizontales, de relativa poca potencia, en las partes altas de los frentes de los acantilados.

### **Covachas:**

Entrantes cóncavos, cerca del nivel del mar, en los acantilados, por la acción marina.

### **Cresterías:**

Resaltes verticales, a ambos lados de fracturas, asimismo verticales, en la superficie de abrasión, por erosión diferencial.

### **Grutas marinas:**

Estados particulares, pero avanzados, de covachas y socavones.

### **Hervideros:**

Cuevas al nivel del mar, o bajo este, y con aberturas en sus techos emergidos. Por las aberturas superiores, sopla el aire, o salen surtidores de agua, cuando penetran las olas a través de las aberturas laterales y/o frontales.

### **Monolitos isleos marinos:**

Restos de formaciones rocosas (erosión diferencial), con morfologías prismáticas - cilíndricas, y sobre rasas o plataformas de abrasión.

### **Paredones isleos:**

Formas planas, verticales y paralelas a la línea de costa, testimonios de erosiones diferenciales, que determinaron retrocesos de acantilados.

### **Pequeñas oquedades superficiales y charcones:**

Las pequeñas oquedades son depresiones, más o menos semi-esféricas, en superficies de abrasión. Pueden tener dimensiones entre centimétricas. Se denominan charcones aquellas oquedades cuyos diámetros alcanzan dimensiones métricas. Estas formas se explican por erosión mecánica (torbellinos) y/o por disoluciones.

### **Portillos:**

Escotaduras de un acantilado, por el cauce - desembocadura de un barranco, o río.

### **Socavones:**

Entrantes subcilíndricos en la base de los acantilados, que tienen sus orígenes en la erosión marina. Los ejes de los subcilindros se disponen paralelos a la línea de costa.

### **Taffonis y alvéolos marinos:**

Los taffonis corresponden a oquedades con una geometría de subesférica a irregular, con diámetros de decimétricos a métricos. Las oquedades milimétricas o centimétricas definen a una superficie tapizada por alvéolos. En ambas formas, presumiblemente hay una importante participación de las disoluciones o alteraciones químicas, por las salpicaduras y/o spray marino.

### **3. Formas mixtas.**

La forma mixta de mayor identidad es, por excelencia, la caleta. Se define como “una orilla convexa hacia tierra adentro, independientemente de que esté, o no, labrada en acantilados”. Con todo, algunas caletas representan formas consecuentes puras.

En el litoral de las Islas Canarias (España), los relieves antecedentes, que contribuyen a la configuración de las caletas son, básicamente, dos:

- las desembocaduras de los barrancos, y
- ciertos edificios volcánicos, que soportan desmantelamientos parciales, por la acción erosiva del mar.

Los edificios volcánicos, que pueden intervenir en el modelado de caletas, se levantan:

- o bien en un ambiente sub-aéreo litoral,
- o bien en un ambiente submarino, de aguas someras (ash-rings o próximos a ellos).

Estos edificios deben delimitar a calderas, o a depresiones circulares importantes, como ocurre actualmente con la denominada “Montaña”, en el islote de La Alegranza. Tal edificio cierra un “gran cráter”, que potencialmente evolucionará a un golfo.

En el caso de los edificios sumergidos, estos habrían sufrido una posterior emersión. Sirva de ejemplo el “Golfo” de Lanzarote, que describe una caleta semicircular, situada en el Este de esa Isla, circundada por las erupciones basálticas históricas de 1730 - 1736.

Las caletas pueden tener como elementos morfológicos secundarios:

- **cuchillos marinos** (o peinadillos), y/o
- **farallones** (o fariones).

Los cuchillos marinos se definen como escarpados y angostos salientes, que separan caletas consecutivas, y que potencialmente evolucionarán a farallones.

Los farallones son también formas de erosión diferencial, con morfologías plano-verticales y perpendiculares a la orilla, separadas de esta por brazos de mar. Se suelen localizar entre dos caletas, y atestiguan el retroceso de la línea de costa.

En el litoral canario, se observan asimismo formas mixtas “menores”. Entre estas, se encuentran las siguientes:

- **Costas de pitones emergidos.** Se refieren a aquellas costas que tienen plataformas costeras sumergidas, con pitones volcánicos intrusivos emergentes, descarnados por la erosión.
- **Costas con desembocaduras colgadas (o decapitadas) de barrancos.** Configuran costas en donde se observan perfiles longitudinales, de cauces de aguas superficiales, bruscamente interrumpidos, por un relativo rápido retroceso de acantilados, o de laderas abruptas. La velocidad de retroceso de la fachada marítima es mayor que la de la erosión de los cauces, en un proceso de reajustes de los perfiles de equilibrio.
- **Costas de portillos.** Se observan acantilados y/o laderas abruptas cortadas por los cauces de barrancos y/o ríos.

### 3. Condicionantes, dependencias y mecanismos en la formación del relieve litoral.

#### a). Condicionantes y dependencias.

Con fines de simplificación, y a modo de ejemplo, se esbozan los condicionantes y las dependencias en relación con una sola forma de erosión marina: con los acantilados. Pero debe quedar bien claro que estos condicionantes y dependencias son decisivos en el conjunto del modelado, independientemente del tipo de escenario geológico: sedimentario, metamórfico o ígneo.

En principio, se pueden desarrollar tres grupos de condicionantes y dependencias:

- litológicos,
- en cuanto a formas y estructuras, y
- de contorno.

#### 1. Condicionantes y dependencias litológicas:

Se dan distintas morfologías litorales en función de los diferentes tipos de rocas, en cuanto:

- al grado de cohesión,
- a la naturaleza petrológica, y
- a la resistencia de sus componentes a la destrucción mecánica o química.

Así, por ejemplo:

- Rocas consolidadas, con composiciones mineralógicas igualmente resistentes a los ataques químicos y físicos, como los basaltos, tienden a formar acantilados verticales. Mientras que rocas no consolidadas, y/o con composiciones mineralógicas desigualmente resistentes a las alteraciones químicas o ataques físicos, como los estratos de piroclastos sueltos o granitos, favorecen los modelados de litorales con declives suaves.
- Y apilamientos de coladas lávicas (rocas competentes), sobre un tramo “blando” (margas, arcillas,

piroclastos sueltos, entre otros materiales), abatido por el mar, favorecen los procesos de un continuo retroceso de la línea de costa. El tramo “blando” es fácilmente socavable por los oleajes y por las corrientes de deriva, y alcanza un buen desarrollo las plataformas de abrasión.

## 2. *Condicionantes y dependencias en cuanto a formas y estructuras:*

Intervienen, principalmente, las disposiciones espaciales:

- de los estratos (sedimentarios, piroclásticos o ignimbríticos),
- de las coladas lávicas,
- de la fracturación, y
- de superficies de discontinuidades, en rocas metamórficas.

En coladas lávicas, la fracturación se origina por contracción térmica, y define, entre otras cosas:

- la disyunción columnar, más o menos desarrollada, y
- el tableado.

Un resumen de estos condicionantes y dependencias sería:

- Favorecen la formación de acantilados muy abruptos las disposiciones verticales y los buzamientos hacia tierra, de estratos consolidados, de coladas lávicas, o de superficies de discontinuidades de rocas metamórficas, por movimientos tectónicos de plegamiento. Juega un papel importante los frecuentes desplomes de grandes bloques de rocas.
- También facilitan el desarrollo de acantilados verticales las disposiciones horizontales de estratos consolidados, de coladas lávicas, o de las superficies de las discontinuidades de rocas metamórficas. En el caso de las coladas, la existencia de un tableado potencia esta tendencia. Suelen labrarse cornisas en los techos y profundas grutas en las bases, a través de las que el mar penetra durante las pleamares.
- La presencia de una disyunción columnar, en coladas lávicas, no afectadas por movimientos tectónicos de plegamiento, propicia la verticalidad de los acantilados. Además, el socavamiento y posterior derrumbe de las columnas (desgaje) desempeñan un papel relevante en el retroceso de estos relieves, y dan lugar a costas recortadas, con profundas, aunque pequeñas, caletas, separadas por cuchillos marinos (erosión diferencial). La estratificación vertical de rocas sedimentarias, o los planos de diaclasas, en rocas plutónicas, cuando inciden perpendicularmente en el litoral, asimismo dan lugar a costas recortadas.
- Las costas tienden a presentar declives suaves (costas bajas y tendidas), cuando buzan débilmente hacia el mar las disposiciones de los estratos consolidados, de las coladas lávicas, o de las superficies de las discontinuidades de rocas metamórficas, por la tendencia a resbalar las olas sobre estos materiales. De esta manera, se disipa la energía del oleaje. Al disiparse la energía de las olas, decae la erosión marina, que se hace insuficiente para labrar acantilados (formas de alta energía).

## 3. *Condicionantes y dependencias de contorno:*

Los condicionantes y dependencias de contorno, en la erosión de los acantilados, son:

- la presencia o ausencia de playas, al pie de los escarpes,
- la profundidad de las plataformas de abrasión,
- el clima marítimo, como vector de la energía de erosión, y
- una actividad tectónica de fallamiento.

Una playa, al pie de un acantilado, puede anular, casi totalmente, o por lo menos parcialmente, la energía del oleaje, por disipación. Con la disminución de la energía de las olas, decrece la capacidad de erosión de éstas.

El ataque del mar resulta muy poco activo en los acantilados escarpados con pies profundos, ya que estas circunstancias geomorfológicas determinan paramentos altamente reflejantes, que hacen que las olas retornen mar adentro, con sus energías.

Algunos acantilados tienen sus puntos de arranque, o están completamente configurados, por el funcionamiento de fallas. En tales casos, los frentes de los acantilados se identifican con los labios de fallas. Una vez formados tectónicamente, suelen seguir los retrocesos erosivos, que se explican, en estos relieves, en sus contextos más generales.

### b). Mecanismos en la formación de relieves en el litoral.

Los mecanismos de la erosión en un litoral se deben a procesos:

- físicos,
- químicos, y/o
- biológicos.

#### 1. Procesos físicos:

Los procesos físicos de la erosión están relacionados con:

- la energía cinética de las olas, y
- el “efecto cuña”.

Con la **energía cinética del oleaje**, se relaciona la erosión más importante en las costas de latitudes medias. Esta erosión se deja sentir preferentemente en los acantilados.

La energía cinética acumulada en las olas se transforma en un formidable “golpe de ariete”, cuando rompen contra el relieve. Se estima que en ocasiones se sobrepasan las 30 toneladas por metro cuadrado (Meléndez y Fuster, 1991). Esto explica, como recoge los anteriores autores, que las grandes olas de los temporales sean capaces de remover enormes bloques de las escolleras y destrozar los malecones.

Por los “golpes de ariete”, los huecos y hendiduras de los frentes rocosos se someten, alternativamente, a fuertes presiones y depresiones casi instantáneas. La resistencia de una roca a este tipo de situaciones es muy pequeña. En este sentido, se “fatiga”, y, en consecuencia, cede, en un proceso de dos fases:

- se amplían primero sus fisuras,
- para, posteriormente, separarse trozos de ella.

Con profundidades adecuadas, las olas proyectan áridos sueltos (arenas, gravas y otros fragmentos de roca), resultantes de la propia erosión, sobre los relieves. Estos áridos actúan como “verdaderos proyectiles” (efecto ametrallamiento), que producen, en la base de un acantilado, los característicos socavones.

Como describe Meléndez y Fuster (1981), el avance de los socavones, a medida que transcurre el tiempo, provoca el desplome de bloques de roca, que, una vez fragmentados, son de nuevo utilizados como materiales de “ametrallamiento”, para continuar el ataque erosivo de la costa.

El retroceso del acantilado determina la formación de la plataforma de abrasión, que puede determinar una mitigación, por disipación, de la energía de las olas.

Existe el “**efecto cuña**” en relieves cuando el agua del mar se congela en las fracturas de las rocas. El resultado es un cuarteamiento, a partir del cual los frentes rocosos se disgregan mecánicamente. Esta erosión se hace patente a grandes latitudes.

#### 2. Procesos químicos:

Los mecanismos químicos de la erosión, en el litoral, precisan:

- o bien de la agresividad química, de determinadas sustancias disueltas en el agua, que reaccionen directamente con los minerales de las rocas,
- o de reacciones de hidrólisis, que describen la alterabilidad de las fases minerales de las rocas. Esas reacciones siguen los esquemas de Ollier (1984) y, por lo general, en ellas tienen que haber disponibilidades de hidrogeniones.

La alteración química no se limita a la zona bañada por el agua del mar, sino que se extiende hasta donde llega el spray marino.

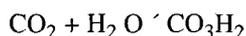
Como consecuencia de la erosión química, se producen, en muchos casos:

- una pérdida neta de sólidos, y
- una transformación de los minerales.

En este proceso de ataque químico, rocas competentes pueden pasar a incompetentes, lo que a su vez implica que las rocas sean más susceptibles a una erosión física.

En la erosión por sustancias disueltas, la agresividad se debe, en gran medida, al contenido de CO<sub>2</sub> en el agua del mar, procedente tanto de la atmósfera como de la actividad biológica, por ejemplo, de los procesos metabólicos.

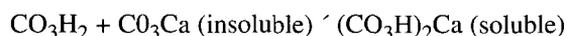
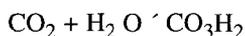
Este CO<sub>2</sub>, al reaccionar con el agua, da CO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>, que a su vez se disocia, de forma reversible, en CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> e hidrogeniones:



Las calizas tienen una capacidad de erosión química muy grande, en presencia de CO<sub>2</sub>. Así, con un 8 % de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua, a temperaturas de latitudes medias, se destruye una cantidad de roca 60 veces superior a lo normal. En estos relieves calcáreos, las calizas muy puras, sin arcilla ni magnesio, son las rocas más atacables.

Como punto de referencia, conviene conocer los contenidos normales disueltos de dióxido de carbono, en el medio marino. Según recoge Anguita (1993), en la composición media del agua del mar, el CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> representa el 0.4 %. Para otros autores, el CO<sub>2</sub> disuelto suele ser de unos 2 000 micromoles por kilogramo.

Los procesos de ataque químico del CO<sub>3</sub>Ca se potencian con aumentos de temperatura, y se ajustan a las siguientes reacciones reversibles:



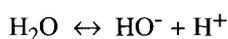
Estas reacciones se deben tener muy presente en la erosión de los acantilados de calizas y de los arrecifes coralinos y de algas.

Cuando las reacciones de hidrólisis necesitan hidrogeniones, estos suelen proceder del CO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>, aunque tenga carácter ácido débil, como lo indican sus constantes de disociación:

$$K_1 = \frac{[\text{CO}_3\text{H}^-][\text{H}^+]}{[\text{CO}_3\text{H}_2]} = 4.3(10)^{-7}$$

$$K_2 = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}^+]}{[\text{CO}_3\text{H}^-]} = 5.6(10)^{-11}$$

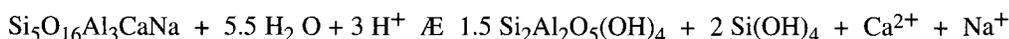
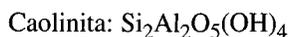
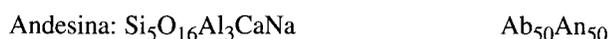
No se deben descartar hidrogeniones de otras procedencias, inclusive de la propia disociación del agua:



Las reacciones de hidrólisis son interesantes, entre otras muchas cosas, en cuanto que explican las alteraciones de los minerales que forman las rocas, y con ello, la erosión química. En el entorno de Canarias (España), con relieves formados por rocas basálticas, o asociadas (traquitas y fonolitas), correspondientes a un volcanismo basáltico alcalino, estas alteraciones contribuirían, entre otros muchos ejemplos, a la formación de alvéolos y taffonis, en los tramos emergidos de los acantilados (hidrólisis por spray marino).

Martínez (1982), describe una serie de reacciones de hidrólisis, verificadas en las rocas basálticas alcalinas de Canarias, que traducen una pérdida global de sólidos, en peso, de los materiales erosionables químicamente. Estas reacciones, referentes a los minerales mayoritarios originarios de tales rocas, se recogen en los siguientes esquemas:

*a). Neoformación de caolinita a partir de andesina:*



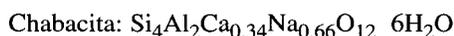
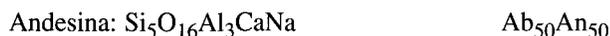
Pm andesina = 540

Pm caolinita = 258

540 gramos de andesina  $\rightleftharpoons$  387 gramos de caolinita.

Sólidos iniciales: .....	1 000.00	gramos (andesina).
Sólidos finales: .....	717.00	gramos (caolinita).
Calcio eliminado: .....	74.00	gramos.
Sodio eliminado: .....	43.00	gramos.
Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) eliminada: .....	222.00	gramos.
% de pérdidas de sólidos: .....	28.00%	

*b). Neoformación de chabacita a partir de andesina:*



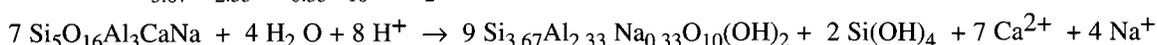
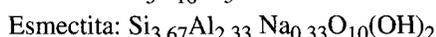
Pm andesina = 540

Pm chabacita anhidra = 258

540 gramos de andesina  $\rightleftharpoons$  580.62 gramos de chabacita anhidra.

Sólidos iniciales: .....	1 000.00	gramos (andesina).
Sólidos finales: .....	1 075.22	gramos (chabacita anhidra)..
Calcio eliminado: .....	36.37	gramos.
Sodio eliminado: .....	00.42	gramos.
Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) ganada: .....	111.26	gramos.
% de ganancias de sólidos: .....	7.52	%

*c). Neoformación de esmectitas a partir de andesina:*



Pm andesina = 540  
 Pm esmectita = 367

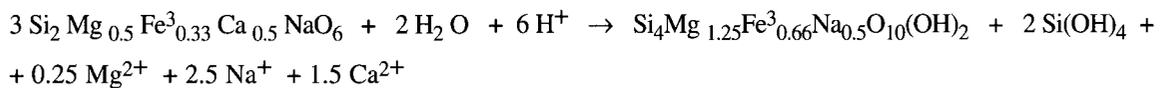
3780 gramos de andesina → 3303 gramos de esmectita.

Sólidos iniciales: .....	1 000.00 gramos (andesina).
Sólidos finales: .....	874.00 gramos (caolinita).
Calcio eliminado: .....	74.00 gramos.
Sodio eliminado: .....	24.00 gramos.
Sílice (SiO <sub>2</sub> ) eliminada: .....	32.00 gramos.
% de pérdidas de sólidos: .....	12.60 %

d). *Neoformación de esmectita a partir de augita egirínica:*

Augita egirínica: (Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) (Mg<sub>0.5</sub>Fe<sup>3</sup><sub>0.33</sub>) (Ca<sub>0.5</sub>Na)

Esmectita: Si<sub>4</sub>Mg<sub>1.25</sub>Fe<sup>3</sup><sub>0.66</sub>Na<sub>0.5</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>



Pm augita egirínica = 226  
 Pm esmectita = 404

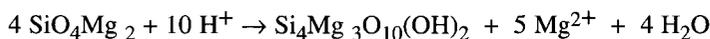
678 gramos de augita egirínica → 404 gramos de esmectita.

Sólidos iniciales: .....	1 000.00 gramos (andesina).
Sólidos finales: .....	596.00 gramos (caolinita).
Calcio eliminado: .....	88.67 gramos.
Sodio eliminado: .....	84.81 gramos.
Sílice (SiO <sub>2</sub> ) eliminada: .....	177.23 gramos.
Magnesio eliminado: .....	8.96 gramos.
% de pérdidas de sólidos: .....	40.40 %

e). *Neoformación de esmectita magnésica a partir de forsterita:*

Forsterita: SiO<sub>4</sub>Mg<sub>2</sub>

Esmectita: Si<sub>4</sub>Mg<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>



Pm forsterita = 140.7  
 Pm esmectita magnésica = 379.25

562.8 gramos de forsterita → 379.25 gramos de esmectita.

Sólidos iniciales: .....	1 000.00 gramos (andesina).
Sólidos finales: .....	673.86 gramos (caolinita).
Magnesio eliminado: .....	215.97 gramos.
% de pérdidas de sólidos: .....	32.61 %

### 3. Procesos biológicos:

Entre los muchos ejemplos, sólo se describirán los principios generales de una participación de comunidades vegetales sub-acuáticas, en la erosión química de un litoral, bajo el “stress” que produjera una presión ambiental, condicionada por intervenciones antrópicas.

En un medio de aguas marinas, hay un equilibrio en los contenidos de CO<sub>2</sub>, en función:

- de la temperatura del agua,
- de la actividad metabólica de las comunidades vegetales, y de organismos en general, y
- de la presión reinante.

A medida que aumenta la temperatura del agua, disminuye la capacidad de retener, y/o de absorber de la atmósfera, dióxido de carbono. Pero con ese incremento de temperatura, se favorece la actividad metabólica, y con ello, la incorporación, en disolución, de más CO<sub>2</sub>. Dentro de este marco, se establece una relación directa entre las cantidades de CO<sub>2</sub> que se pueden disolver y la presión.

Si se rompe el equilibrio, en el sentido de que se facilite una mayor concentración de CO<sub>2</sub>, se darían las circunstancias apropiadas para que se disolviese el recipiente, los relieves, en los supuestos de que estos fuesen calcáreos:

- los acantilados y/o las laderas de calizas, en las fachadas costeras, y/o
- las formaciones arrecifales coralinas y de algas.

Los aumentos de CO<sub>2</sub> del agua del mar, sobre fondos someros, que rompieran los equilibrios en los contenidos de este compuesto químico, se podrían producir creando las situaciones ambientales, que determinasen la degradación destructiva, descomposición, de praderas de vegetales sub-acuáticas, significativas:

- por sus extensiones superficiales, y
- por las densidades de pie de plantas.

Las situaciones de degradación se podrían deber, entre otras causas, a la incorporación, en el medio, de nutrientes, por encima de un determinado umbral, que implicaran la eclosión importante de micro-algas. Estas podrían representar “pantallas de opacidad”, entre la superficie del mar y el fondo con las praderas. A consecuencia de la perturbación de interposición, no llegaría la suficiente luz solar a las praderas de vegetación, para que tuvieran lugar, adecuadamente, las funciones fotosintéticas. Ante esta precariedad en la fotosíntesis, se entraría en la degradación de los vegetales sub-acuáticos del fondo.

La incorporación de nutrientes podría estar ligada, por ejemplo, a las aguas servidas (residuales), de uso urbano, y/o de otras actividades, en los entornos próximos emergidos.

#### **4. Las “cuñas de erosión” de Suárez Bores, y sus limitaciones, para explicar retrocesos de acantilados y desarrollos de plataformas de abrasión.**

El oleaje concentra la casi totalidad de su energía en la zona superficial del mar. Esta zona energética, en relación con los acantilados, se sitúa:

- sobre una plataforma somera, que se comporta como una poderosa “rozadora”,
- o sobre una plataforma profunda, de pendiente suave.

En el segundo supuesto, al pie del acantilado hay un gran “colchón” de agua, que amortigua la energía de las olas, al disiparse las velocidades y la turbulencia en la masa de agua (Suárez Bores, 1980). Por otra parte, si el frente rocoso, el acantilado, tiene un fuerte buzamiento, se favorece el retorno de la energía hacia el mar adentro (efecto reflexivo), con la creación de una barrera energética, hacia mar adentro, perpendicular a la costa.

En general, la eficacia erosiva de las olas, junto a los acantilados, disminuye rápidamente:

- al aumentar la profundidad y
- al decrecer la pendiente de la plataforma de abrasión.

En relación con estos procesos y efectos, se llega a modelizaciones gráficas. En estas modelizaciones, Suárez Bores (1980) emplea las siguientes hipótesis de salida:

1. Para una velocidad de erosión constante, el perfil límite del acantilado se corresponde con una traslación de la ladera, condición geométrica necesaria para que se erosione volúmenes iguales en tiempos iguales.

2. Y la energía de erosión, al pie del acantilado, se encuentra en la cuña definida por el borde externo de la plataforma de abrasión (O), por la base del acantilado (B), y el nivel del mar. Pero como lo que realmente se erosiona es la plataforma de abrasión y el acantilado, por desplomes, se puede identificar una “**cuña de erosión**” definida por los vértices O, B y C, en donde C representa la coronación del relieve.

El lado OC (límite superior de la cuña) coincide con el perfil topográfico de la primitiva ladera (antes de la erosión), que actualmente, en muchos casos, se continúa por encima del punto C.

Con un nivel del mar estable (ausencia de regresiones y transgresiones), la cuña de erosión OBC progresa hacia tierra. El vértice B se desplaza horizontalmente, a la cota del nivel del mar. En cada posición de avance del vértice B:

- El lado OB define la plataforma de abrasión. Cada posición tiene un desplazamiento en paralelo, en relación con la anterior.
- Mientras que el lado CB, que determina el acantilado, también retrocede paralelamente.

Para una eficaz acción erosiva del mar, se precisa que el oleaje no agote totalmente su energía:

- por rozamientos con el fondo, y/o
- por rotura,

en su propagación a través de la plataforma de abrasión. Cuando se alcanza ese agotamiento energético, se dice que se tiene una “**cuña límite de erosión**”.

Pero lo que ocurre realmente, en muchas circunstancias, sobre todo cuando los fondos están constituidos por materiales no muy resistentes, es que se producen reprofundizaciones, en las franjas más internas de esas plataformas:

- Por la energía de las olas de temporales fuertes.
- Y/o por corrientes de deriva, de gran capacidad energética, para la erosión y/o transporte de áridos, pero infrasaturadas en relación con el transporte. Tales corrientes estarían facultadas para erosionar.

De esta manera, al desaparecer la mitigación energética de las olas, se reactiva la cuña de erosión, con lo que el frente del acantilado sigue retrocediendo hacia tierra, y ganando altura su cota de coronación, si es que hay relieve para ello. En los litorales, difícilmente se consiguen “**cuñas límites permanentes de erosión**”. No obstante, si se pueden dar “**cuñas límites temporales de erosión**”.

En las representaciones gráficas:

- con trazos finos se muestran los sucesivos avances de la cuña de erosión, y
- con trazos gruesos, el perfil OB-BC de la cuña límite de erosión.

Conforme con una hipótesis simplificada, la geometría de la cuña lineal límite de erosión describe los siguientes ángulos:

$\alpha\gamma$ : buzamiento medio de la plataforma resultante de abrasión.

$\alpha\sigma$ : buzamiento medio del lado superior de la cuña de erosión. Y

$\alpha\chi$ : ángulo crítico de estabilidad del acantilado.

La altura máxima posible para un acantilado, formado con un nivel estable del mar, se obtiene con la ecuación:

$$h_C = BC \operatorname{sen} \alpha_C \quad (1)$$

Pero por razones trigonométricas, se establece que:

$$\frac{BC}{\operatorname{sen}(\alpha_C - \alpha\gamma)} = \frac{OB}{\operatorname{sen}(\alpha_C - \alpha\sigma)} \Rightarrow BC = \frac{OB \operatorname{sen}(\alpha\sigma - \alpha\gamma)}{\operatorname{sen}(\alpha_C - \alpha\sigma)}$$

Si se sustituye BC por:

$$\frac{OB \operatorname{sen}(\alpha s - \alpha \gamma)}{\operatorname{sen}(\alpha c - \alpha s)}$$

en la ecuación (1), se obtiene que:

$$\frac{OB \operatorname{sen}(\alpha s - \alpha \gamma)}{\operatorname{sen}(\alpha c - \alpha s)}$$

Según Bradley (1962), con situaciones de mar estable, la plataforma de abrasión puede alcanzar una anchura media de unos 500 metros y una profundidad, en su límite externo, de unos 10 metros. Esto implica un valor de 1.20 para el ángulo ag.

Se observa, por otra parte, que los valores más frecuentes de as y de ac son 15o y 45o respectivamente. Si se admiten estos valores, se obtiene, de inmediato, que:

$$h_c = 500 \frac{\operatorname{sen}(13.8)}{\operatorname{sen}(30)} \operatorname{sen}(45) = 169m.$$

Para acantilados prácticamente verticales, con plataformas de abrasión análogas geoméricamente a las anteriores, y si se admite que se mantiene el valor de 15 grados para as:

$$h_c = 500 \frac{\operatorname{sen}(13.8)}{\operatorname{sen}(75)} \operatorname{sen}(90) = 123.5m.$$

De acuerdo con esta línea de razonamientos y estimaciones, en los acantilados con cotas de coronación altas, que rebasasen unos pocos cientos de metros, intervendrían otras variables. De entrada, se admitiría los movimientos eustáticos y/o epirogénicos, que explicarían transgresiones y regresiones. A estas conclusiones ya llegó Darwin, en 1842, ante los relieves litorales muy altos, de la isla de Santa Elena.

Desde la cuña de erosión, para un nivel del mar estable, Suárez Bores (1980) desarrolla una serie de esquemas gráficos, para las situaciones reales, con niveles medios cambiantes del mar. Se tienen presente las situaciones de regresiones y transgresiones marinas.

La metodología general, en el estudio de la génesis y morfología de los acantilados y de sus plataformas de abrasión:

- considera, en primer lugar, la erosión que se produce con un mar en regresión,
- analiza, a continuación, la erosión en dependencia con un mar en transgresión, y
- finaliza con el efecto conjunto de regresiones y transgresiones consecutivas, solapadas o no.

Respecto a las regresiones marinas, formula que los cambios, en las velocidades de erosión, están condicionados, entre otras cosas, por las aceleraciones o desaceleraciones en los descensos del nivel del mar. La desaceleración de ese descenso permite que un determinado intervalo de cotas, del relieve, esté sometido más tiempo a la acción erosiva del mar, con lo que aumenta el volumen erosionado por unidad de tiempo. El perfil del acantilado diverge de la ladera primitiva, hacia el borde.

Si el descenso del mar se acelera, otro intervalo de cotas del relieve está ahora sometido, durante menos tiempo, a la acción erosiva del mar. En consecuencia, el volumen de roca erosionada, por unidad de tiempo, es menor. El perfil del acantilado converge con la ladera primitiva, hacia la base.

Sus deducciones se recopilan en esquemas gráficos, que muestran:

- regresiones límites, con formación de laderas rectilíneas,
- regresiones límites, con formación de laderas convexas,
- regresiones continuas uniformes,

- regresiones continuas aceleradas - desaceleradas,
- regresiones intermitentes, con discontinuidades amortiguadas (regresiones alternantes),
- regresiones intermitentes, con discontinuidades bruscas,
- transgresiones límites,
- transgresiones continuas,
- transgresiones intermitentes, con discontinuidades amortiguadas (alternas),
- transgresiones intermitentes, con discontinuidades bruscas,
- y fluctuaciones regresiones - transgresiones, en diversas situaciones.

En definitiva, se interpreta gran parte del relieve costero, tanto actual como relicto, submarino o subaéreo, a partir de dos formas erosivas decisivas:

- acantilados y
- plataformas de abrasión.

El análisis de las cuñas de erosión proporcionan visiones muy elegantes de la dinámica de retroceso de los acantilados, pero hay que ser muy cautelosos con las estimaciones “numéricas” que se hagan, incluso teniendo en cuenta los procesos regresivos y transgresivos.

Las cautelas se basan en varios motivos:

- En la heterogeneidad de los frentes rocosos. No suelen presentarse como homogéneos. Las cuñas de erosión parten de un comportamiento homogéneo de los materiales.
- En el desconocimiento de como intervienen cuantitativamente los condicionantes y dependencias litológicas, en cuanto a formas y estructuras y de contorno, en los procesos de la erosión.
- En la no contemplación, durante los procesos de erosión de la cuña, de los efectos contemporáneos de las reprofundizaciones en la plataforma de abrasión, por olas de temporales y/o corrientes de deriva, con excesos de energía.
- En el desconocimiento del ángulo de equilibrio, al que tiende el conjunto del perfil de la plataforma de abrasión en observación, en un escenario geográfico determinado.
- Y en admitir un ángulo típico “significativo” de  $\alpha_S$ . En realidad, este ángulo está en función de la altura  $h_C$  que se quiere calcular, en dependencia con la amplitud de la plataforma de abrasión que se forma. Habría una “auto-alimentación”. Luego, no se puede aceptar un parámetro, en este caso un ángulo, que sirva para calcular algo, cuando ese parámetro está controlado precisamente por la magnitud del hecho a encontrar. Se estaría en un “círculo vicioso”.

Pero además, podría suceder que en un aparente acantilado, de un relieve tomado como “un todo”, sea el resultado de morfologías convergentes superpuestas, que no definen una misma unidad morfodinámica, por intervenir génesis diferentes. Las cotas de coronación del conjunto no son realmente las de auténticos acantilados.

Como ejemplo, se puede citar el caso de los Acantilados de Tamadaba, en la fachada NW - W de la Isla de Gran Canaria (España). Aquí se llega a cotas de unos 1 000 metros, como resultado de:

- auténticos acantilados marinos,
- que soportan alternantes “terrazas” y “cortadas” (andenes), donde participa la erosión de las aguas superficiales.

De todas maneras, la identificación de un relieve dado con uno de los esquemas gráficos de Suárez Boreas (1980), podría servir para una preformulación de un bloque de acontecimientos, dentro de una “Historia Morfodinámica Regional”. Pero se debe tener la precaución de asumir que los efectos de otros procesos, genéticamente diferentes, podrían provocar morfologías similares en los relieves. Entonces, las interpretaciones geomorfológicas serían radicalmente distintas.

Por ejemplo, las terrazas arrecifales, fuertemente escalonadas, y parcialmente solapadas, de la cara oriental de la Isla de La Blanquilla (Venezuela):

- describen micro-acantilados, y
- traducen que se formaron en un proceso de transgresión marina.

Y si se compara esta morfología con los esquemas de Suárez Bores, cabría la tentación de caer en una interpretación de unos sucesivos procesos erosivos intermitentes, dentro de una regresión. Los bordes de los escalones serían tangentes a una recta, tendente a ajustarse a un perfil primitivo, que estaría, o habría estado, en forma relicta, por encima de la cota de coronación de terrazas. La configuración por una transgresión intermitente, la otra alternativa, quedaría excluida al no dibujarse escalones tendidos, de relativas pequeñas potencias.

Todo esto no quita que haya ocurrido, necesariamente, una posterior regresión, para que actualmente emerjan las “terrazas”. En este escenario geográfico, quizás se puedan identificar y observar la sobre-imposición de rasgos geomorfológicos, de signos opuestos, correspondientes a transgresiones y regresiones.

### **5. Ejemplo de análisis de idoneidades de acantilados, para intervenciones de desarrollo. El caso del acantilado de Guacuco (isla de Margarita, Venezuela), ¿un territorio “cancerígeno”?**

Los acantilados pueden:

- presentar aparentes “estabilidades”, o
- ser fuentes significativas de aportes sedimentarios de playas limítrofes.

En el segundo de los casos, están asociados con inestabilidades, a procesos de destrucción, que se traducen en acelerados retrocesos, hacia tierra, de sus frentes. Pero estas inestabilidades resultan beneficiosas para la “salud” sedimentaria de las playas, de aguas abajo, de sus provincias morfodinámicas. Una estabilización de tales retrocesos podrían implicar la aparición, o acentuación, de inestabilidades en los depósitos de áridos, de las playas receptoras, o beneficiarias.

Pero los retrocesos vigorosos de los acantilados, en relación con el uso del territorio:

- condicionan, en mucho, las intervenciones antrópicas,
- o ponen en peligro las obras ya existentes.

En estos territorios (frentes y/o superficies de coronación), no tendrían cabida determinados usos, puesto que, más pronto que tarde, serían alcanzados por los efectos de la erosión. Se tratarían, desde esta perspectiva usufructuaria, de terrenos “cancerígenos” condenados a destruir lo que se construya sobre ellos.

Por otra parte, las obras tendentes a “paralizar” esta erosión podrían implicar serios riesgos para la alimentación sedimentaria de ciertas playas, que representarían interés, desde varios aspectos. Resolver un aparente problema “ambiental”, para crear otro, u otros, con repercusiones graves, no se podría clasificar como un buen manejo del territorio. No se puede “*vestir a un santo, desnudando a otro*”.

En este contexto, se encuentra el Acantilado de Guacuco, en la Isla de Margarita. Este escenario geográfico va a permitir identificar, observar, analizar e interpretar una serie de hechos, así como deducir y evaluar los impactos de una serie de posibles alternativas de intervención, tendentes a mitigar, o retener, el retroceso de la fachada marítima. Se pretende “*aprender*” con un ejemplo.

Los Acantilados de Guacuco se localizan en la vertiente NE de la Isla, en el sector de Guareme. En su extremo meridional, se desarrolla la Playa de Guacuco, de naturaleza arenosa. Hacia el Norte, se encuentran los terrenos de La Chana. El frente de acantilados llega, prácticamente hasta Punta Cardón, a lo largo de un recorrido de unos 4 kilómetros. Se alcanzan potencias de hasta unos 20 metros, aunque la envergadura media es de unos 10 metros, sobre el nivel del mar. Estos relieves presentan una práctica verticalidad.

Geológicamente, están cartografiados como parte de la Formación El Manglillo. Los materiales son muy deleznable, con una mala cementación, formados por arenitas, conglomerados, margas y conchas de coquinas, sobre una base de arenas, gravas y cantos rodados. A partir de análisis geotécnicos, las arenitas representan casi un 46 %, y las gravas 15.5 % (Sánchez, 1992). Se observa, según los casos, una grosera estratificación horizontal, o un buzamiento hacia tierra. Por otra parte, se desarrollan profundas y angostas cárcavas.

Unos incipientes bad lands, localizados “puntualmente” a lo largo del acantilado, crean zonas de mayor debilidad, ante la erosión, lo que explica una planta externa muy recortada.

En general, se identifica y se observa un retroceso generalizado de todo el relieve, y esto queda evidenciado:

- Por socavones importantes. La disposición horizontal de los “paquetes” litológicos permite un desarrollo intensivo de los socavones.
- Y por grietas de distensión, cerca del borde, en el techo del relieve.

Pero sobre todo, por el trazado de la antigua carretera. Ésta se encuentra recortada, o comida, en muchos puntos de su trayecto, por la fachada del acantilado, y ha sido necesario construir una nueva vía, sin tener la precaución de alejarla suficientemente del borde del frente marítimo. Únicamente está separada de la antigua por unos pocos metros.

Los desprendimientos, asociados al proceso de retroceso, se ven favorecidos, presumiblemente, por superficies lubricadas, de despegue, en lutitas, a causa de infiltraciones de aguas superficiales. Estos despegues se pueden acentuar con la infiltración de aguas de procedencia antrópica (por ejemplo, de riego para el mantenimiento de los jardines de instalaciones hoteleras o de cualquier tipo, y/o de pozos sépticos).

La velocidad del retroceso se puede estimar a partir del contraste de fotografías aéreas, correctamente espaciada en el tiempo.

El entorno se haya sometido a un oleaje dominante del NNE (del alisio), que determina una corriente de deriva hacia el SE.

Desde otra perspectiva, pero en concordancia con todo lo anterior, los Acantilados de Guacuco poseen todas las características para comportarse como una fuente muy buena de aportes de áridos, en relación con las playas de aguas abajo, que no estén separadas por promontorios significativos. En esas circunstancias de continuidad, formando parte de una misma provincia morfodinámica, se ubica la Playa de Guacuco, que se beneficia de los aportes de arenas procedentes del acantilado, y que soporta una importante industria turística.

La Playa de Guacuco está constituida por arenas, alcanza una longitud de unos 2 000 metros, y una amplitud que rebasa los 30 metros. Su límite meridional es un apoyo artificial (un espigón), que no supera los 40 metros de penetración. Al Sur de esta estructura, retrocede la orilla. Esto demuestra que hay un transporte neto desde el Norte (desde la zona acantilada).

Dentro de este marco, supóngase que se pretendiera estabilizar el acantilado en su totalidad, o sectorialmente, para poder realizar determinados proyectos de desarrollo, o para proteger los usos actuales. Las únicas medidas que retendrán el retroceso serían las obras marítimas. Se podrían jugar con las siguientes posibilidades de intervención ingenieril:

- Creación de una amplia playa artificial de arenas, según criterios “blandos” (sin contenciones, ni espigones ni abrigos), adecuadamente amplia, al pie del Acantilado.
- Creación de una playa artificial “consolidada”, con contención, espigones de apoyo y/o abrigos, también al pie del Acantilado.
- Construcción de un muro vertical de defensa, que podría soportar, un paseo marítimo, por ejemplo, para ampliar las posibilidades de ofertas, para un uso urbanístico - turístico - recreacional del territorio.
- Levantamiento de un revestimiento escalonado muy tendido de protección, en la plataforma más interna de abrasión, que disipara significativamente la energía del oleaje, antes de llegar al pie del acantilado.
- O construcción de un simple dique exento.

Con la primera alternativa, se obtendría un “colchón” disipador de la energía del oleaje. Éste sólo llegaría, en situaciones de fuertes temporales, al pie del acantilado, pero estaría muy debilitado, e incapacitado para erosionarlo. Y, además, se dispondría de una superficie de “playa y sol” añadida, de interés para el usufructo hotelero del acantilado. Sin embargo, la medida no sería muy acertada, y representaría un despilfarro económico. Esta playa arenosa, sin ningún tipo de protección, sería muy efímera (tendría “sus días contados”). Pronto habría desaparecido, y se volvería a la situación inicial, con un oleaje habitual y de temporales que incidiría, con toda su virulencia, sobre el acantilado.

Obviamente, quedaría protegido, de la erosión del oleaje, el tramo del acantilado que sirviera de cabecera a una playa artificial “consolidada”, con un frente de contención, y unos espigones delimitantes laterales, independientemente de la presencia, o no, de abrigos. Pero sin embargo, y de entrada:

- No se evitaría la erosión hacia aguas arriba y hacia aguas abajo, respecto al sector protegido. La línea de orilla protegida se configuraría, cada vez más, como un promontorio, hacia mar adentro, que podría hacer cambiar toda la dinámica oceanológica costera, de su provincia morfodinámica, con todas sus consecuencias en los procesos y efectos sedimentarios del litoral. Y, por añadidura, acontecerían drásticos cambios en el paisaje.
- Se excluiría una parte del acantilado, el del tramo protegido, como fuente de aportes sedimentarios de la Playa de Guacuco. El frente de aportes quedaría reducido.
- Los espigones supondrían una interrupción del transporte procedente de aguas arriba, que alimenta a la Playa de Guacuco.
- Los transportes interrumpidos se desviarían hacia mar adentro, por el efecto reflector de la energía del oleaje, a causa de la contención, que necesariamente sería bastante somera, y/o de los abrigos.
- Y se formaría una barrera energética transversal a la orilla, precisamente por la reflexión del oleaje incidente, que reforzaría el bloqueo de los transportes de áridos de agua arriba hacia aguas abajo.

Mientras tanto, en la Playa de Guacuco, las pérdidas de arenas seguirían siendo las que tenían lugar normalmente, y como los aportes habrían disminuido, habría fundamentados riesgos de que:

- el ambiente sedimentario entrara en inestabilidad, si estaba en hiper-estabilidad, o en estabilidad,
- o se potenciara esta inestabilidad, si ya existía.

Con la tercera alternativa de obras de defensa, se repetirían todas y cada una de las circunstancias anteriores, con la excepción de los procesos y efectos dependientes de los espigones. Pero quizás:

- Se hagan más patentes los procesos de reflexión de la energía del oleaje, con los consiguientes desvíos de los aportes sedimentarios de aguas arriba hacia mar adentro, y la potenciación de la barrera energética transversal, con todos sus efectos en el transporte de arenas.
- Y se favorezca una erosión a sotamar (hacia el Sur) del acantilado, una vez rebasada la protección, por la resultantes vectoriales de las energías de las olas incidentes y reflectadas.

La del revestimiento escalonado, como otra modalidad de defensa longitudinal, podría resultar poco efectiva al pie de un acantilado, al que llegara, con cierta frecuencia, oleajes energéticos, como es el caso. Evidentemente, si no alcanza el conjunto de la obra amplitudes exageradas, perdería toda su funcionalidad ante temporales fuertes e inusitados, y seguiría avanzando la erosión. De todas maneras, este tipo de obras no se salva de evitar la restricción de la fuente de suministros de áridos, durante situaciones oceanológicas “normales”, si el entorno está facultado para ello, en relación con las playas de aguas abajo, de su provincia morfodinámica. Por otra parte, un posible acondicionamiento de tales escalones, como paseo marítimo, en estos escenarios, representaría una potencial peligrosidad para los usuarios “temerarios”, en situaciones de mar brava. La intervención, en cambio, podría ser válida para entornos de playas.

El dique exento propiciaría que se dieran unas aguas abrigadas entre esta estructura y un tramo determinado del acantilado. Con un buen diseño y una construcción acertada, según criterios de ingeniería de costas, se podría conseguir la protección perseguida, en la fachada costera a usufructuar. Los efectos colaterales serían:

- Bloqueo de un tramo de acantilados, como fuente de aportes de áridos.
- Formación de una barrera transversal de la energía reflejada del oleaje, desde el frente externo de la obra marítima. Esto ya de por sí supondría un obstáculo a los transportes de áridos, desde aguas arriba. En principio, este obstáculo sería parcial, puesto que quedaría, entre el dique y el frente rocoso, un pasillo, por donde se “canalizarían” las corrientes de deriva, procedentes de aguas arriba, con toda su carga sedimentaria.
- Y posibilidad de desarrollo de un tómbolo de áridos, desde el pie del acantilado, que llegaría a abrazar al dique exento, si éste tiene una parametrización dimensional apropiada para ello. De darse estas últimas circunstancias, se cerraría totalmente el paso de áridos, desde aguas arriba, con todas las repercusiones que ello ocasionaría en el ambiente playero de aguas abajo.

De estos análisis, se llega a la conclusión que la mejor intervención correspondería a la “*alternativa cero*” (la de no intervención), si:

- se desea mantener la salud sedimentaria de la Playa de Guacuco, con sus repercusiones positivas en la industria turística, de la cual es materia prima,

- o no priva los intereses socioeconómicos de los usufructuarios del acantilado sobre los de la playa de aguas abajo.

## 6. Las costas rocosas como recursos de esparcimiento

Los contenidos de este epígrafe se centran en escenarios de fachadas rígidas, en términos de Ingeniería de Costas. Dentro de una Geomorfología, tales entornos geográficos se corresponden con los litorales de rocas duras (competentes), más o menos recortadas, que han soportado fuertes procesos de erosión, que labran, con frecuencia:

- plataformas de abrasión, con numerosas pequeñas grutas, oquedades inframareales y charcones inter
  - supramareales,
  - y acantilados.

Bajo un enfoque ambientalista, aquí se podrían desglosar los siguientes aspectos:

- Las peculiaridades biológicas de las costas rocosas.
- La desnaturalización biológica de las costas rocosas.
- Las peculiaridades del paisaje en escenarios de erosión.
- La disponibilidad de otros tipos de entornos para actividades deportivas - recreacionales y de desarrollo (instalaciones de explotación turística, por ejemplo).
- Las charcas supramareales, las piscinas naturales y la formación de aguas resguardadas, por obras marítimas, para el usufructo de estos escenarios.
- Y un ejemplo de uso recreativo - turístico de estos litorales: El caso de La Fajana, en la Costa de Barlovento, en la Isla de La Palma (Canarias, España).

### a). *Las peculiaridades biológicas de las costas rocosas.*

Las formas de erosión (las plataformas de abrasión, con sus pequeñas grutas y oquedades inframareales y charcones inter y supramareales) suelen representar nichos ecológicos de interés, por su riqueza en diversidad específica y ocasionales importantes biomasas:

- tanto en la flora,
- como en la fauna.

En muchas circunstancias, la flora tiene por sí un peso específico considerable, pero además, puede actuar a modo de cobijo de la fauna, de forma tal que ésta sufriría graves perturbaciones si se alterasen praderas marinas, bien de algas o de otras comunidades de vegetales.

Esta caracterización de la biocenosis se contrasta más cuando se ubica en plataformas estrechas de abrasión. La flora y la fauna disminuyen drásticamente hacia los fondos más profundos. Ocurre, con frecuencia, que la presencia de la plataforma representa a un condicionante de contorno, para la existencia de ciertas especies.

Según una formulación muy general, se admite que la flora y fauna de las costas rocosas constituyen un potencial de biodiversidad local, que puede llegar a tener relevancia a otras escalas espaciales:

- en función de la rareza y/o endemismos, de determinadas especies,
- y conforme con la carga genética que pueden contener, y en el modo de regenerarse el genotipo, dentro de una escala temporal, si se destruyese.

Lo anterior podría alcanzar el suficiente peso como para justificar las delimitaciones de “parques marítimos” protegidos.

Por otra parte, la fauna de estos lugares podrían soportar actividades de una pesca extensiva de ocio (de caña y/o submarina), debidamente regulada, sin que hubiera peligro en la sobrevivencia de especies de interés, y en el mantenimiento del equilibrio ecológico.

### **b). La desnaturalización biológica de las costas rocosas.**

Los rellenos de arenas, en estos tipos de costas, por requerimientos para unos determinados usos del territorio, tienen un efecto destructivo de la flora, con todas sus repercusiones negativas en la fauna (desaparecerían sus cobijos). Desde otro enfoque, las turbideces que se crearan serían, para algunas especies de la fauna, muy perjudiciales, y el conjunto de la red trófica se desequilibraría.

La conjunción de los efectos negativos de un relleno de arena, en una costa rocosa, podría llevar a la desaparición de una biocenosis a proteger, o a un marcado empobrecimiento de esta.

También se debe tener en cuenta que los rellenos de arenas se pueden expandir lateralmente, por la dinámica oceanológica, y afectar a otros ecosistemas colaterales, de la costa intervenida.

### **c). Las peculiaridades del paisaje en escenarios de erosión.**

De forma habitual, en las costas rocosas destaca uno de los componentes arquitectónicos del paisaje, que incide fuertemente en la calidad paisajística. Se trata de la diversidad topográfica, como una consecuencia inmediata de los procesos erosivos y de los efectos de éstos. Las costas rocosas suelen ser ricas en distintos planos de profundidad y en roturas de líneas de los diferentes horizontes. Y a medida que aumenta esta riqueza, se incrementa la calidad del paisaje.

Como valores añadidos, se pueden encontrar otros componentes arquitectónicos del paisaje, dependientes de la erosión. Por ejemplo, la espectacularidad de algunos acantilados.

El litoral NW de la Isla de Gran Canaria (España), observado, por ejemplo, desde el Paseo de los Poetas del Puerto de Las Nieves (Agaete), propicia al esparcimiento precisamente por su diversidad topográfica y la espectacularidad de su acantilado (el frente marítimo de Tamadaba).

Ocasionalmente, a todo lo anterior se le puede unir una sinfonía de colores abigarrados, por factores litológicos, que incrementa, en “progresión geométrica”, la calidad del paisaje de estos escenarios erosivos costeros. Como ejemplo de esto último, se puede referenciar los Acantilados de El Coco, en la Isla de Coche (Venezuela).

Los litorales de erosión presentan, a menudo, puntos singulares de observación (miradores), desde donde se pueden delimitar cuencas paisajísticas, que permiten un esparcimiento, de acuerdo con los componentes descritos y otros, junto al “sonido” del mar. El romper de las olas crean la “música” de estos paisajes.

### **d). La disponibilidad de otros tipos de entornos para actividades deportivas - recreacionales y de desarrollo (instalaciones de explotación turística, por ejemplo).**

La “monotonía” es algo que llega a cansar. En cambio, se hace más atractivo, despierta más el interés, una variedad de situaciones y de disponibilidades alternativas, y esto se consigue si, junto a litorales de significativas playas arenosas, hay entornos costeros rocosos. La necesidad de la “variedad” toma más cuerpo dentro de espacios geográficos limitados, y máxime si estos se encuentran aislados, como ocurre con las islas de reducidas dimensiones (del tamaño de Gran Canaria y de Tenerife, en España, o de Margarita, en Venezuela).

La riqueza de diversidad de entornos, a lo largo de un litoral, posibilita:

- la existencia de un abanico más amplio de paisajes,
- y unos soportes físicos para una variada oferta de usos de desarrollo y de esparcimiento (deportivo y recreacional), conforme con distintos gustos de los usufructuarios, o con sus necesidades de cambios.

### **e). Las charcas supramareales, las piscinas naturales y la formación de aguas resguardadas, por obras marítimas, para el usufructo de estos escenarios.**

Las costas rocosas posibilitan, conjuntamente:

- los solariums,
- las zonas de baño,
- la práctica del deporte de la pesca (de caña o submarina),

- y el recreo que proporciona recorridos submarinos (buceo), en parajes ricos en formas caprichosas por la erosión, y en vida.

Los “solariums naturales” no tienen porqué estar ubicados exclusivamente en playas arenosas. Pueden encontrarse en zonas rocosas, donde unos vientos dominantes, de velocidades “soportables”, no inoportunan por carecer de transportes de arenas.

En las costas rocosas, el agua de las playas arenosas se sustituye por el de las charcas supramareales y de las piscinas naturales, con accesos adecuadamente acondicionados. Pero cuando no hay ni charcas ni piscinas naturales, se podría recurrir a la creación de aguas resguardadas del oleaje, mediante obras marítimas, siempre que:

- sus diseños y tipologías de construcción se ajusten a su entorno geomorfológico, que estén en armonía con la Naturaleza,
- sean estructuras abiertas a la dinámica biológica,
- y no supongan el bloqueo de fuentes de aportes sedimentarios, de playas significativas de aguas abajo.

Desde otro punto de vista, los tres anteriores condicionantes representan descriptores de permisibilidad (excluyentes o no), para la estimación de un indicador de sustentabilidad, ante este tipo de intervenciones.

En el supuesto de que se dieran los bloqueos de aportes sedimentarios, por estas obras de ingeniería costera, en tramos rocosos de aguas arriba, de una provincia morfodinámica que tiene playas arenosas importantes aguas abajo:

- se provocaría, o se acentuarían, desequilibrios en los balances sedimentarios, de las playas,
- aparecerían perjuicios para los usuarios de los entornos playeros,
- y se atentaría a la conservación de un tramo de la Naturaleza.

Para conseguir aguas resguardadas, en costas rocosas, Copeiro (1996) propone, entre otras obras marítimas:

- diques bajos exentos, disipadores y botadores de la energía del oleaje, y
- series acopladas de diques sinoidales discontinuos, paralelos a la orilla.

Los diques sinoidales:

- Hacen que los frentes de las crestas de las olas converjan (que se incremente la energía) en las convexidades, observadas desde el mar, cosa contraria a lo que ocurre en las concavidades. Así, se transforma parte de la energía del oleaje en corrientes de sobre-elevación, hacia el centro de las concavidades, desde donde se inician corrientes de retorno.
- Determinan que el impacto de una cresta dada no tenga lugar simultáneamente, a lo largo de una obra de resguardo, sino que transcurra dentro de un intervalo de tiempo. En las convexidades, las olas romperán antes que en las concavidades. Con ello, se consigue que disminuya la energía de choque por unidad de tiempo. Esto conllevaría a que las obras se construyan para soportar menores energías. Serían más económicas.
- Se dispersan las direcciones de reflexión de la energía del oleaje. Las reflexiones se pueden anular mutuamente, con lo que aparecen “cuencos de amortiguación”, que se refuerzan con series de diques sinoidales acoplados.
- Y no se cierran, o aíslan, espacios marinos a la dinámica de la biocenosis litoral.

Pero para el encaje “en armonía” de estos diques sinoidales con una costa rocosa, las culminaciones deben hacer intuir, de una forma espontánea, la presencia de “arrecifes” naturales. En diques bajos, esto se puede conseguir con coronaciones revestidas de rocas del entorno geográfico.

Se tiene que prever que toda obra marítima, tendente a amortiguar la energía del oleaje, puede crear corrientes, muchas de ellas peligrosas, en determinados sectores, para usos de baño u otros.

***f). Un ejemplo de uso recreativo - turístico de estos litorales: El caso de La Fajana, en la Costa de Barlovento, en la Isla de La Palma (Canarias, España).***

En las proximidades del Faro de Punta Cumplida, se puede describir un litoral de erosión diferencial, en Basaltos Antiguos, con disyunción columnar y estructura tableada. Se pueden cartografiar:

- laderas intermedias abruptas y acantilados,
- una plataforma de abrasión, que ha evolucionado internamente, hacia tierra, a una estrecha rasa, quizás a causa de movimientos eustáticos,
- y monolitos isleos.

En la rasa, se localizan piscinas naturales (fajanas) y pasillos de erosión, que dan una morfología muy recorrida a la orilla.

Junto a esta arquitectura natural, se ha construido una serie de piscinas artificiales, con un estilo y con unos materiales en concordancia con su entorno geográfico. Las piscinas se disponen yuxtapuestas y a distintos niveles. Todas ellas están conexionadas, de forma tal que el agua que entre en una de ellas, por rebose del oleaje, llegue sucesivamente a las restantes. De esta manera, se logra una continua renovación del agua.

Otras infra-estructuras urbanísticas, en relación con estas piscinas artificiales, son:

- vestuarios,
- solariums escalonados,
- jardinería,
- servicios de hostelería,
- etc.

La Costa de Arucas (Isla de Gran Canaria, España), entre El Portillo y la Punta del Camello, podría soportar una intervención análoga a la de los aldeaños orientales de Punta Cumplida, en la Isla de La Palma, siempre que:

- se respeten sus contenidos culturales, como son sus salinas, y
- se revalorice la totalidad del territorio.

Para que haya una revalorización integral de este litoral, se precisará una “restauración” del paisaje, en la franja emergida, conforme con la línea de intervenciones de Bordes (1994), o de cualquier otro equipo, que proponga intervenciones adecuadas. Las intervenciones previstas por Bordes (1994) quedaron, para este territorio, en una “mera declaración de intenciones”, dada la inoperatividad, al efecto, de las administraciones públicas implicadas.

### 7. Los relieves de las grandes formas de erosión diferencial

En un capítulo de formas erosivas, dentro de un libro con constantes referencias a Venezuela, no se podría pasar por alto, aunque sea muy sucintamente, los relieves relícticos emblemáticos, conocidos como “*tepuis*” (o “*epuys*”).

Los tepuis son restos de formaciones rocosas, por erosión diferencial:

- que se levantan espectacularmente, con laderas abruptas policromáticas, verticales o casi verticales,
- que pueden alcanzar hasta 2 775 metros de altura, y
- que destacan entre relieves más rebajados.

Las rocas trabajadas por la erosión pertenecen a la Formación Precámbrica Inferior de Roraima. Define a una cubierta de plataforma, integrada, básicamente, por areniscas arcosas, con intercalaciones menores de lutitas y conglomerados. Por meteorización, y por otros controles, han generado suelos, frecuentemente ácidos.

En general, reciben el nombre de arcosas las areniscas de grano grueso compuestas, básicamente, por cuarzo y feldespato potásico. Es frecuente la presencia de un cemento arcilloso, de tipo caolín, que representa menos del 15 % del total de la roca. Para muchos autores, se depositan en ambientes fluviales y marinos de la plataforma continental.

Los tepuis representan a **inselbergs** (cerros islas), y entran dentro de las formas aisladas, respecto a sus entornos fisiográficos envolventes, propias de plateaus, o de formaciones rocosas peniplanizadas. Tales relieves se deben:

- a la erosión,
- en conjunción, en muchas ocasiones, con controles tectónicos (familias de grandes fracturas, por ejemplo), que condicionan los desarrollos fluviales y los avances de los procesos erosivos.

Estas formas se clasifican, geomorfológicamente, en:

- mesas,
- cuchillos, y
- fortalezas.

Las **mesas** corresponden a edificios:

- de superficies planas, relativamente anchas y alargadas,
- con laderas escarpadas (verticales o próximas a la verticalidad), aunque también pueden desarrollar apretados trapps (andenes).

Los **cuchillos** son restos alineados de los relieves, que definen divisorias de aguas “en crestas”.

Se entiende por **fortalezas**, o alcazabas, a relieves con portes.

- piramidales,
- cónicos, o
- prismáticos, de laderas:
- sumamente escarpadas, o
- en trapps.

En la formación de las fortalezas, suelen participar la erosión erosiva combinada de varias corrientes fluviales, que se jerarquizan en los terrenos peniplanizados.

Los relieves fonolíticos del SE de Gran Canaria (Islas Canarias) podrían constituir un laboratorio a escalas reducidas:

- en el espacio, y
- en el tiempo,

de lo que habría sucedido en el Escudo Guayanés.

En el escenario de Ayagaures (Gran Canaria), resulta fácil deducir la siguiente secuenciación de acontecimientos vulcanológicos - morfodinámicos:

1. Apilamiento de un número grande de extensas coladas fonolíticas, con groseras disyunciones columnares, y formación de un plateau.
2. Excavación de profundos barrancos subparalelos, con laderas en trapps. Los andenes tienen por causas:
  - las superposiciones de las coladas, y
  - una disyunción columnar, más o menos desarrollada.

Por estas excavaciones, el relieve evoluciona a mesas.

3. Agudización, por erosión fluvial, de las mesas, hasta formar cuchillos, con laderas en trapps.
4. Seccionamiento de algunos cuchillos, en un proceso de jerarquización y captura de las aguas encauzadas. Si acontecen dos capturas próximas, el tramo de cuchillo aislado pasa a fortaleza. No obstante, las fortalezas podrían también derivar directamente de mesas.
5. Como resultado de todo lo anterior, formación de relieves:
  - de profundos y relativos estrechos barrancos, con laderas en trapps,
  - que bordean mesas, cuchillos y fortalezas.

Esto mismo se puede extrapolar al Escudo Guayanés, sustituyendo:

- Los plateaux fonolíticos por formaciones peniplanizadas, que podrían contener controles tectónicos de grandes fracturas, o de otro tipo. Las discontinuidades subhorizontales, en profundidad, y distintas familias de fracturas verticales, que definen las estructuras de las rocas, serían los factores decisivos, que intervendrían en el desarrollo de los potentes escarpes de las laderas.
- Y los barrancos por caudalosos ríos.

Las escalas espaciales de separación de las formas geomorfológicas están en función directa con la escala temporal:

- mientras que en Canarias todo esto ha sucedido sólo en unos pocos millones de años,
- para Venezuela, se rebasa los mil doscientos millones de años.

A consecuencia de los grandes transcurros de tiempos, las formas de erosión diferencial, del Escudo Guayanés, se presenta como formas aisladas, que dominan extensas llanuras. Por lo contrario, por la juventud de los procesos modeladores, en las fonolitas del SE de Gran Canaria, se obtienen relieves de una rica diversidad topográfica “comprimida”.

Los tepuis constituyen rarezas geomorfológicas, muy antiguas, de acuerdo con una escala geológica de los tiempos, pero además, se identifican como auténticas **“islas ecológicas”**, ya que sus alturas, escarpados límites y aislamientos hacen que presenten características propias, por sus contenidos biológicos, con muchos casos de endemismos, de floras y faunas **“fósiles vivos”** y de especies amenazadas de extinción. Y esta biocenosis confiere a los tepuis una gran carga de biodiversidad, con todo lo que ello conlleva.

En el Parque Nacional de Canaima, se cartografían los siguientes tepuis significativos:

- Auyán, con una superficie de unos 700 kilómetros cuadrados,
- Iru, con el Salto Kukenán,
- Chimanta, y
- Akopán.

En uno de sus frentes del Tepui Auyán, se encuentra el famoso Salto Ángel, el más alto de caída libre del mundo, con unos 929 metros.

En el Parque Nacional de Jaua - Sarisariñama, se encuentran, como tepuis significativos, las Mesetas de Pantepui (Jaua - Jidi, Sarisariñama - Jidi y Guanacoco Jidi). Las cumbres de las mesetas se caracterizan por contener profundas grietas e impresionantes simas.

Las simas, interpretadas por algunos autores como de colapso, describen diámetros superiores de hasta un poco más de 350 metros. Los inferiores pueden llegar a los 500 metros. Se han medido profundidades de hasta 350 metros.

En el Parque Nacional Yapacana, se localiza el Tepui Yapacana. La forma se levanta abruptamente, desde su penillanura envolvente, a 80 metros de altitud, hasta alcanzar una cota de 1345 metros.

Otro tepui significativo es el Autana. Se halla calificado como Monumento Nacional, y se ubica en el sector Oeste del Escudo Guayanés.

El Tepui se eleva como un cuchillo gigantesco y escarpado, sobre la penillanura selvática. La parte superior está completamente amurallada por verticales cortaduras (cortadas).

El cuchillo se encuentra atravesado, de lado a lado, por una cueva espectacular, con techo en bóveda, o en cúpula. La galería tiene una longitud de 399 metros, con una altura de 40 metros.

## C A P Í T U L O 9

### *Procesos y efectos geológicos en taludes y laderas*

#### E S Q U E M A :

1. Delimitación de conceptos, clasificaciones y aspectos generales de los procesos y efectos geológicos en taludes y laderas.
2. Condicionantes de contorno en la dinámica de taludes y laderas.
3. Estudio de un caso particular de movimientos de terreno.
4. Metodologías para el estudio geológico de taludes y laderas.
5. La datación de los movimientos en taludes y en laderas.
6. La Geotecnia en taludes y laderas.
7. Detección de movimientos de terreno.
8. Los movimientos de taludes y laderas en relación con los trazados de vías de comunicación y de otros servicios, y con las ocupaciones urbanísticas del territorio.

#### **1. Delimitación de conceptos, clasificaciones y aspectos generales de los procesos y efectos geológicos en taludes y laderas**

Se pretenden estudiar las causas y mecanismos que explican las estabilidades e inestabilidades de las vertientes (taludes y laderas). Se aborda, en consecuencia, una parte de los riesgos naturales, que se deberían tener en cuenta en el adecuado usufructo de determinados territorios.

Para este tratamiento del terreno, se precisa tener muy claros, entre otros, los conceptos “límites” de:

- aludes (avalanchas),
- desprendimientos, en frentes rocosos,
- deslizamientos, y
- movimientos de flujo.

Entre las situaciones, que describen los anteriores conceptos, puede darse toda una gama de circunstancias mixtas.

Se entiende por **aludes**, o avalanchas, de nieve, o de cualquier material, a los movimientos súbitos, a ras del suelo, que pueden soportar sus acumulaciones, cuando:

- forman grandes potencias sobre laderas relativamente escarpadas,
- y alcanzan pendientes en hiper-estabilidad.

En situaciones de hiper-estabilidad, pequeñas perturbaciones físicas (onda acústica, microsismo u otro tipo de vibración, en general) producirán desplazamientos de los materiales acumulados, a favor de la gravedad, para que puedan desarrollarse nuevas topografías, con unas pendientes tendentes al equilibrio. En ocasiones, la propia avalancha puede transportar más materiales de los necesarios, para obtener perfiles de equilibrio. Como resultado, aparecerían laderas con pendientes temporales, en hipo-equilibrio, en los sectores de cabecera.

Los **desprendimientos**, en un proceso extremadamente rápido, y según Corominas (1989), se corresponden con movimientos de porciones de terreno, rocoso o no, en forma de bloques aislados, o masivamente, siempre que,

en una gran parte de sus trayectorias, desciendan por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con la topografía, donde se producirán saltos, rebotes y rodaduras.

En los relieves empinados, son frecuentes los desprendimientos distensivos, por falta de apoyo lateral. Se tratarían de desprendimientos relacionados con previas fracturas de distensión. Geomorfológicamente, las grietas de distensión, relativamente abiertas, pero antes del desprendimiento, pueden recibir distintas denominaciones. En algunos lugares de Canarias (Caldera de Taburiente, en la isla de La Palma), se las conocen como **agujeritos**. En este escenario, se llaman **ataúdes** a ciertas cicatrices que dejan los desprendimientos, y que presentan peculiares características geométricas.

Los bloques que se desprenden describen **vuelcos** cuando, en las caídas libres, rotan hacia el exterior, alrededor de ejes situados por debajo del centro de gravedad de la masa en movimiento.

Cuando los desprendimientos son muy frecuentes, los derrubios que se forman al pie de la fachada afectada pueden formar acumulaciones potentes. Estos depósitos se llaman **canchales**.

Los desprendimientos suelen clasificarse en los siguientes tipos:

- desprendimiento por gelifracción (desprendimiento favorecido por la acción de cuñas de agua, al helarse, en las grietas existentes en las rocas, y que provocan la propagación de las grietas),
- desprendimiento por reblandecimiento del pie,
- desprendimiento por descalce (por erosión de un material blando del pie, por socavación lateral, y/o por deslizamientos basales).

La definición de cada uno de estos términos se encuentra recogida y explicada por Corominas (1989).

Los **deslizamientos** se definen como desplazamientos de masas de terreno, en estado sólido, por efecto de la gravedad y a favor de niveles de despegue. La masa se desplaza rígidamente, y aunque puede llegar a fragmentarse, se considera que lo hace como un bloque único.

Los niveles de despegues están determinados por capas ricas en arcillas, que actúan como lubricantes cuando aumentan su plasticidad. La pérdida de rigidez sería una consecuencia de la absorción de agua por las arcillas. El agua puede proceder, normalmente, de infiltraciones provenientes de capas superiores más permeables. No se deben descartar aportes de agua por procesos de capilaridad.

Otros niveles de despegue pueden estar formados por fracturas.

A lo largo y ancho de la masa desplazada, es posible que se originen grietas y movimientos de asentamiento.

Los deslizamientos se subclasifican en:

- traslacionales o
- rotacionales,

según que la superficie de despegue sea plana o cóncava respectivamente.

En los **deslizamientos por rotación**, el giro se efectúa conforme a un eje paralelo a la fachada. En tales casos, los frentes de avance y/o las terrazas de asentamiento, podrían quedar, incluso, a contra-pendiente.

Estructuralmente, los deslizamientos se diferencian en:

- cohesivos (o coherentes), e
- incoherentes.

En los **deslizamientos cohesivos**, la masa desplazada mantiene su estructura original, mientras que en los **incoherentes**, se adquiere una perturbación.

El inicio de un deslizamiento se produce en el momento en que el esfuerzo de cizalla supera el valor del rozamiento interno del material, en una superficie de despegue.

Los **movimientos de flujo** consisten en “coladas” de materiales:

- que se desplazan a favor de la gravedad,
- de forma continua,
- donde las partículas se pueden desplazar a distintas velocidades, según trayectorias que no tienen que ser, necesariamente, paralelas,
- con régimen laminar, sin descartar excepcionales situaciones de turbulencia,
- y que determinan, a menudo, superficies topográficas lobuladas, a consecuencia de todo lo anterior.

Los materiales susceptibles a formar “coladas” suelen tener proporciones significativas de limos y arcillas. Muchas coladas presentan niveles inferiores de despegue. En este caso se estaría en una situación mixta entre movimientos de flujo y deslizamientos.

Los movimientos de flujo se pueden clasificar en:

- soliflucción, y
- reptación.

La **soliflucción** es un movimiento, relativamente rápido, donde toman identidad la presión del agua intersticial y la plasticidad de los materiales.

La soliflucción suele desarrollarse:

- en depósitos de acumulación (coluviones, piedemontes, y otros),
- en depósitos de alteración, sobre todo en formaciones margosas, de esquistos o de pizarras, y
- en formaciones arcillosas y limosas susceptibles a deformarse.

Las coladas de barro son solifluxiones en materiales limo-arcillosos, que dejan cicatrices cóncavas en las áreas de cabecera.

La **reptación** define a movimientos superficiales, extremadamente ralentizados, y prácticamente imperceptibles, salvo después de largos periodos de medida. Estos movimientos suelen ocurrir en unos materiales ricos en arcillas que, con una cierta periodicidad, se embeben de agua. La ralentización puede verse favorecida por una intervención estructural del sustrato (por ejemplo, estratos buzantes a contra-pendiente).

Los **slumping** consisten en ondulaciones, que se producen en las capas de materiales que se desplazan, por procesos de soliflucción - reptación.

Los desprendimientos, deslizamientos y movimientos de flujo inciden, a gran escala, sobre la estabilidad de grandes volúmenes de roca, o de tierras. Suelen desencadenar desplazamientos de grandes magnitudes de masas y provocar efectos catastróficos.

En las zonas volcánicas, de los climas húmedos, son muy frecuentes las coladas de barro. Cuando se dan fuertes pendientes, pueden alcanzar velocidades de hasta 1 000 kilómetros por hora. Un ejemplo reciente se tiene en el Nevado del Ruiz, en Los Andes colombianos, donde:

- entró en juego, además de la actividad volcánica, unos relieves de alta montaña y nieves perpetuas,
- y se puso de manifiesto la extraordinaria rapidez y poder destructivo de las coladas de barro, en zonas montañosas.

## 2. Condicionantes de contorno en la dinámica de taludes y laderas.

La condición de contorno básica, en los desprendimientos, es la presencia de frentes rocosos escarpados, como son los taludes. Otros condicionantes serían:

- presencia de discontinuidades (fracturas y fallas de asentamiento, por ejemplo), que faciliten el aislamiento de bloques,
- degradación de la resistencia de la roca, por meteorización, y,
- acción de los fenómenos de erosión hídrica superficial.

En general, y para el conjunto de la dinámica de taludes y laderas, los condicionantes de contorno serían:

- la pendiente topográfica,
- la potencia del terreno susceptible al movimiento,
- la estratificación,
- la fisuración,
- los movimientos tectónicos que determinen superficies inestables,
- la facilidad del terreno para fracturarse, erosionarse y/o meteorizarse,
- la existencia de niveles de despegue,
- la disponibilidad de agua,
- la presencia y densidad de determinadas comunidades vegetales,
- las actividades humanas que inducen a cambios en el terreno, y
- vibraciones bruscas, que inicien los desplazamientos en situaciones de meta-estabilidad.

**La pendiente topográfica** juega un papel decisivo en tanto que condiciona el valor de la aceleración de la gravedad. Las pendientes críticas de equilibrio serán específicas de cada material y de sus características intrínsecas. Pero, además, para un mismo material con unas características dadas, dependerán de las restantes condiciones de contorno que les afecten.

**La potencia del terreno susceptible al movimiento.** Por mucho que se den las condiciones favorables para el movimiento del terreno, si no hay una masa significativa, los desplazamientos carecerían de importancia o no se darían. De aquí que la **potencia** (espesor de los materiales) constituya un condicionante de contorno.

**La estratificación** condiciona a los posibles movimientos en cuanto que representa un factor favorable, o no, a los desplazamientos. Una inclinación de los estratos a contra-pendiente favorece la estaticidad, todo lo contrario de lo que ocurre con un buzamiento en el sentido de la pendiente topográfica.

El grado de estaticidad, o de movilidad, que propicia la disposición estratigráfica dependerá del grado de inclinación y de la rigidez de los estratos. Así, con estratos a contra-pendiente y rígidos, a mayor ángulo de inclinación habría un mayor impedimento al desplazamiento.

**La fisuración** rompe la continuidad del material, con lo que se obtienen elementos “libres” para el desplazamiento.

En determinadas situaciones, el resultado puede ser diferente en función del material que pueda rellenar las fisuras. Si un material arcilloso rellena fisuras a favor de la superficie topográfica, y si el resto de los condicionantes son favorables, se crearían niveles de despegue, con todas sus consecuencias. En tanto que si las fisuras se rellenan de material de precipitación que cimente, se contrarrestan los procesos tendentes a movimientos del terreno.

En terrenos susceptibles de moverse, **los niveles de despegue** están constituidos, normalmente, por capas de materiales arcillosos. Estos niveles aumentarán el carácter de lubricante cuando se impregnen de agua. La meteorización podría constituir un mecanismo que proporcionara suficientes materiales arcillosos, para originar estos niveles de despegue.

En algunas ocasiones, el papel lubricante de los niveles de arcillas lo desempeñan capas grafitosas, sobre todo, en algunos relieves metamórficos

**La disponibilidad de agua** va a intervenir en la formación de arroyadas y en infiltraciones. La arroyada colabora con el movimiento de arrastre superficial, en tanto que la infiltración participa en el aumento de la plasticidad del terreno, y en el incremento del carácter lubricante de los niveles de despegue

En los deslizamientos, el agua actúa:

- incrementando el peso de la masa potencialmente deslizante,
- y disminuyendo el coeficiente de rozamiento interno, en la superficie de despegue.

De esta manera, los deslizamientos, y los movimientos en general, toman mayor relevancia y frecuencia durante las épocas de lluvia.

### **La vegetación:**

- Por una parte “desacelera” el movimiento, en cuanto que atrapa y fija a las partículas del suelo,
- y, por otra, facilita el movimiento al permitir una mejor infiltración del agua, si la hay, con lo que ello supone.

En relación con la vegetación, y en dependencia con el control de los procesos y efectos de los movimientos en taludes y laderas, se deben destacar las especies que facilitan, por las características de sus raíces:

- el atrapamiento y fijación de las partículas,
- y la infiltración del agua.

No solamente basta que las raíces sean o no apropiadas para unos procesos y efectos determinados, sino que intervengan en una densidad adecuada, y esto lo determina la abundancia de las comunidades en cuestión.

Pero además, puede ocurrir que la vegetación favorezca una “lluvia horizontal” (sea el caso del bosque de laurisilva, en las Islas Canarias, España). En tal supuesto, habría una potencialización de la disponibilidad de agua, que se infiltraría por las raíces y/o a través de una fisuración, con sus posibles efectos en la dinámica del terreno.

Las **vibraciones bruscas de arranque** se pueden deber:

- a la caída de un gran bloque rocoso,
- a la actividad volcánica, o
- a una tectónica activa, con terremotos asociados.

La confluencia de condicionantes de contorno no suele propiciar repercusiones en proporciones aritméticas, sino geométricas. Por otra parte, no se debe perder de vista la teoría matemática del caos, en cuanto que una ligera intervención de uno de los condicionantes puede producir un efecto de grandes magnitudes, si el sistema (aquí el terreno) se encontraba en alta meta-estabilidad, por acumulaciones de dosis sucesivas de los diferentes condicionantes de contorno descritos o por describir.

Análisis minuciosos de algunos de estos condicionantes de contorno, con connotaciones de datación, son abordados por Corominas y Moya (1996).

### **3. Estudio de un caso particular de movimientos de terreno**

Sea el “Campo de Piedras” de Arteara, en el Sur de la Isla de Gran Canaria (España). Aquí se pueden cartografiar extensos “pedregales”. El depósito “sedimentario” está formado, básicamente, por grandes bloques angulosos, muchos de ellos métricos.

Se presentan tres afloramientos, aunque el principal se encuentra al Oeste de la carretera de Fataga, con una amplitud próxima al kilómetro, y una longitud de varios kilómetros. Todos ellos se localizan a media ladera y al pie de relieves muy abruptos, constituidos por coladas lávicas, entre otras piroclásticas, de naturaleza fonolítica, densamente fracturadas. Sobresale la grosera fracturación vertical.

Una posible explicación del origen de estos depósitos, sobre todo en relación con el más extenso, se podría buscar:

- en la susceptibilidad a la formación de grandes bloques, por causas estructurales (fracturaciones verticales y horizontales, por contracciones térmicas, en las coladas),
- y en súbitos desprendimientos de las masas de bloques,

Los desprendimientos serían las respuesta a una convergencia de factores favorables:

- presencia de potentes masas de bloques,
- pendientes muy abruptas, como soportes de las masas de bloques, que rebasaran el perfil de equilibrio, respecto al movimiento de éstos,
- agentes que provocaran el movimiento repentino de los bloques,
- etc.,

El inicio de los movimientos de los bloques estarían motivados por sacudidas sísmicas, determinadas por puntuales fallas de asentamiento.

Los pequeños afloramientos se habrían desarrollado por procesos de “simpatía”, en rocas que permiten, fácilmente, la formación y el desprendimiento de bloques de grandes dimensiones.

La identificación de una de estas fallas, en un barranco próximo, en el de Tirajana, a la altura de la “Fortaleza de Ansite”, verifica la hipótesis formulada, en cuanto a la causa desencadenante.

De todas maneras, aquí se descarta un origen por cambios bruscos de la temperatura, conforme con la climatología que se da en este sector.

El “Campo de Piedras” de Arteara encierra un contenido etnográfico, que debió ser preservado. En este entorno, los pre-hispánicos construyeron una necrópolis. En la actualidad, se encuentra expoliada.

#### 4. Metodologías para el estudio geológico de taludes y laderas.

En general, metodologías actualizadas, para el estudio de inestabilidades en taludes y laderas, se encuentran desarrolladas y/o recogidas, entre otros, por Ferrer y Gallego (1996) y Luzi y Pergalani (1996).

Las metodologías se suelen basar:

- En la caracterización, a gran escala, de zonas afectadas por movimientos de laderas, donde se incluyen los aspectos geológicos y geomorfológicos, y los diferentes factores que influyen y condicionan el comportamiento del terreno.
- En la caracterización meteorológica del lugar.
- En estudios geotécnicos de detalle, mediante sondeos, calicatas, ensayos de laboratorio, investigaciones “in situ”, etc.
- En la recopilación de la información previa disponible de la zona de estudio y en las dataciones de paleomovimientos, que hayan tenido lugar.
- En el empleo de técnicas probabilísticas.
- En las cartografías morfodinámicas y en los Sistemas de Información Geográfica.

En la caracterización de la zona de estudio, a partir de una propuesta de Ferrer y Gallego (1996), se deberían cumplimentar fichas, que incluyan los siguientes apartados y datos:

##### 1. Situación y localización:

- Estado o Provincia. Municipio. Paraje. Carretera.
- Ubicación. Hoja 50 000 (o a otra escala). Coordenadas.
- Usos del suelo afectado.

##### 2. Geometría del talud o ladera:

- Descripción generalizada del escenario.
- Altitud (cotas de cima y de pie). Diferencia de cotas.
- Ángulo natural de la ladera .
- Exposición.
- Situación del deslizamiento en la ladera.
- Observaciones complementarias.

##### 3. Geometría del deslizamiento:

- Cotas de la cabecera y del pie. Desnivel del deslizamiento.
- Anchura, longitud, extensión y volumen.
- Situación y profundidad de grietas de tracción.
- Altura de los escarpes originados en los deslizamientos (de las cicatrices).
- Tipo de rotura.
- Profundidad de la superficie de rotura.

- Morfología del depósito.
- Observaciones complementarias.

#### 4. Caracterizaciones geológicas del deslizamiento:

- Litologías. Formación. Edad.
- Condiciones de las rocas y/o del suelo. Estructuras continuas y discontinuas (grado de fracturación).
- Grado de meteorización.
- Humedad.
- Observaciones complementarias.

#### 5. Condiciones hidrogeológicas:

- Área de la cuenca de aportes.
- Flujo de agua en el área de deslizamiento.
- Posición del nivel freático en la zona.
- Fuentes y manantiales.
- Comportamiento hidrogeológico de los materiales.
- Condiciones de drenaje.

#### 6. Análisis del proceso:

- Actividad.
- Fechas de los movimientos.
- Mecanismos de rotura.
- Velocidad.
- Causas.
- Condiciones de contorno.
- Análisis de estabilidad.
- Observaciones complementarias.

Las anteriores fichas llevarán anexas:

- esquemas de situación,
- planta y corte de los deslizamientos, y
- fotografías.

Para la obtención de datos meteorológicos, principalmente de precipitaciones, para sus análisis y correlaciones con los episodios de movimiento en taludes y laderas, se ha de recurrir a estaciones meteorológicas locales, las más cercanas posibles a la zona de estudio.

En el supuesto de que las estaciones estén distantes, se harán las correspondientes extrapolaciones, tras las oportunas correlaciones de tomas de datos "in situ". En cualquier caso, se deben considerar series temporales significativas de datos. En el caso de la meteorología, una serie significativa abarcará, como mínimo, unos siete años, de toma continua de datos.

Las cartografías morfodinámicas y los Sistemas de Información Geográfica recogerían, entre otras cosas, los distintos comportamientos dinámicos inventariados, con sus identificaciones y descripciones. De esta manera, se dispondría de una herramienta muy válida, para la sectorización de usos en un territorio, que abarcará vertientes. Se podrían predecir distintos grados de riesgos, en función de diferentes usos. En esta línea, se encuentran diversos autores, tales como Brabb (1996) y Remondo et al.(1996).

Desde la representación de la información de inestabilidades reales y potenciales, en mapas, Remondo et al. (1996) obtienen **índices de inestabilidad**, que necesariamente estarán en dependencia con descriptores e indicadores de vulnerabilidad, como los definen Martínez, Casas y Gómez (1996), en este caso en relación con taludes y laderas. Estos índices se deberán tener presentes en los usos del territorio.

### 5. La datación de los movimientos de taludes y de laderas

En palabras de Corominas y Moya (1996), “Mediante las técnicas de datación se puede cuantificar los ritmos en la modificación del relieve y analizar si estos son constantes o, por el contrario, variables”. Para estos autores, la datación de los grandes movimientos permitirían analizar las eventuales relaciones de éstos con:

- los mecanismos desencadenantes y
- las reactivaciones sucesivas.

En principio, la datación de los movimientos de taludes y de laderas es un problema difícil. Sobre todo, los recientes. Los deslizamientos, en tiempos geológicos, se datan muchas veces mediante la edad de los materiales situados por debajo y por encima.

La datación de movimientos recientes es posible:

- cuando afectan a parte de masas boscosas naturales o de repoblación, o a turberas,
- cuando fosilizan o contienen elementos datables (suelos, arbustos o árboles bien conservados),
- con el estudio de nucleidos cosmogénicos en las cicatrices de cabecera, y
- si afectan a obras civiles.

En relación con las masas boscosas, se pueden identificar:

- la cicatriz de despegue que deja el movimiento,
- cuándo se produce, si el movimiento es rápido,
- y si acontece más de uno, cuando estén lo suficientemente separados en el tiempo.

Los troncos de los árboles afectados por el movimiento adquirirán una inclinación, mientras que los no afectados mantendrán la verticalidad. El límite entre estos dos tipos de troncos marcará la cicatriz de despegue.

Después del movimiento, los árboles desplazados presentarán dos tramos en sus troncos, el existente previo al desplazamiento, que mantendrá la inclinación, y el de crecimiento posterior, que recuperará la verticalidad. La metodología de datación consistirá en restar a la edad que resulta del estudio de los anillos del tronco (dendrocronología), la edad que otorgan los anillos de una rama que esté inmediatamente por encima de la zona de inflexión del tronco.

En el caso de que sea un movimiento único y rápido, dirá cuándo ocurrió éste. Si se trata de un movimiento muy lento, que llegue hasta la actualidad, traducirá el momento en que se inició.

Los árboles indeformados, que crezcan sobre el material movilizado, darán una edad mínima del movimiento. También se puede determinar esta edad mínima con el análisis de turberas, que se desarrollaran en encharcamientos dependientes con ondulaciones del terreno, y siempre que sean debidas a los desplazamientos, o a la rotación de la cabecera del deslizamiento.

Para las dataciones de los elementos fosilizados (suelos, arbustos y árboles, entre otros) por los materiales desplazados, o contenidos en estos, se pueden aplicar técnicas radiométricas ( $^{14}\text{C}$ ), si los eventos han tenido lugar dentro de un determinado rango de tiempo, que permita la aplicación del método.

De acuerdo con Lang y Dikau (1996), en las cicatrices de los nuevos escarpes, y en las caras de los grandes bloques que se desgajan y acumulan, aparecen nucleidos cosmogénicos “in situ”. Por ejemplo, el  $^{36}\text{Cl}$ , que se produce por reacciones de desintegración del  $^{39}\text{K}$  y del  $^{40}\text{Ca}$ , así como por activación del  $^{35}\text{Ca}$ . Los ritmos de acumulación son proporcionales a la intensidad de los rayos cósmicos y a la concentración de los nucleidos presentes en el material, y todo esto está en función de la antigüedad de la superficie de la cicatriz.

Con respecto a la recopilación de la información histórica, sobre los movimientos antiguos ocurridos en una zona, a veces se detecta la falta generalizada de documentación, a pesar de la gran cantidad de posibles fuentes a revisar. Se puede encontrar información en los organismos de investigación a nivel nacional, en las hemerotecas, en los archivos parroquiales y municipales de las localidades afectadas, etc. Normalmente, la información histórica disponibles resulta pobre, en cuanto a los datos técnicos sobre los movimientos, a no ser que hayan provocado casos de sucesos graves.

## 6. La geotecnia en taludes y laderas

Un estudio de Geotecnia pretende:

- conocer las condiciones de partida de un terreno, antes de soportar proyectos de Ingeniería,
- y/o proponer soluciones técnicas (obras complementarias), que puedan atenuar, o anular, los riesgos, entre ellos los de inestabilidades, derivados de impactos producidos por otras obras.

Para cada caso, puede haber soluciones aceptables o, en última instancia, se optaría por abandonar el proyecto, si éste no es viable, a la vista de los estudios de Geotecnia.

En un estudio de Geotecnia, se tendría que abordar, entre otras cosas:

- las propiedades y los ensayos de suelos y rocas,
- los análisis específicos de litologías inestables,
- la auscultación de taludes y laderas inestables,
- la identificación y la descripción de superficies potenciales de despegue,
- las identificaciones y las cuantificaciones de arcillas sensibles a los cambios de humedad,
- las estimaciones de almacenamientos anómalos de agua, por una obra determinada,
- la medición de la estabilidad de taludes, y
- la aplicación de métodos generales, en la determinación de equilibrios límites.

Pero estos contenidos se escapan de la perspectiva que se da a esta Geomorfología. Se recomienda, al respecto, consultar a Corominas (1989).

Con todo, se podría reseñar que en una Ingeniería Civil, toma especial interés, dentro de un contexto de inestabilidades:

- el control de movimientos,
- la corrección de taludes inestables, y
- la construcción de taludes, bien mediante un sistema mecánico de excavación, o bien por explosivos, sin rechazar técnicas intermedias, como puede ser, por ejemplo, la prevoladura.

Una panorámica amplia, de estos aspectos ingenieriles, se encuentra también recogida por Corominas (1989).

Las técnicas más usuales, en la estabilización de terrenos, o en la mitigación de sus movimientos, se basan en la utilización de:

- anclajes especiales, que traten de aumentar el rozamiento interno del terreno,
- pilotes pasivos,
- sustentaciones de base (empalizadas de madera o muros de cemento),
- pantallas, o fachadas, de cemento, en toda la superficie de los frentes rocosos,
- recubrimientos con repoblación vegetal, o con mallas, y
- drenajes, que mantengan el nivel de humedad lo más bajo posible.

Los pilotes pasivos consisten en la introducción de estructuras rígidas en el terreno, con el fin:

- de aumentar sus características de resistencia, y
- de disminuir sus deformaciones.

Los efectos, en relación con la reducción de la inestabilidad, pueden ser, en la realidad, muy diferentes, según los casos. Esto explica la diversidad de metodologías, al respecto, en la Ingeniería Civil.

Los pilotes soportan unos esfuerzos, inducidos por el talud, o ladera. Tales esfuerzos, de acuerdo con Grau (1987), se clasifican en:

- axiales: a lo largo de los fustes,
- cortantes: esfuerzos de flujo, entre pilotes, que rebasan el límite de rotura del terreno,
- y flexiones: también esfuerzos de flujo, entre pilotes, pero sin rebasar el anterior límite de rotura.

Y dependen, fundamentalmente:

- de las características del terreno, sobre todo de sus parámetros de resistencia,
- de las situaciones de los pilotes en el terreno,
- de las inclinaciones de los pilotes, y
- de las distancias de separación entre pilotes.

Grau (1987) estudia minuciosamente las interacciones entre:

- pilotes y esfuerzos axiales,
- pilotes y esfuerzos cortantes, y
- pilotes esfuerzos de flexión.

Y presta especial atención a las siguientes situaciones:

- Cuando los pilotes se hincan a través de una capa de arcilla blanda, hasta llegar a una capa de alta capacidad portante (arena, grava u otros materiales).
- Cuando los pilotes son cortos, y no llegan hasta el terreno firme.
- Y cuando los pilotes toman cargas axiales, simultáneamente, a través de sus cabezas, bajo rellenos, y sus fustes.

Existen diversas fórmulas para evaluar las fuerzas laterales, producidas en un talud o ladera, en una fila de pilotes. Sea, por ejemplo, la expresión de Tomo Ito (1981).

Determinadas las fuerzas que actúan sobre los pilotes pasivos, los cálculos de los coeficientes de seguridad, frente a los deslizamientos, pueden hacerse por cualquiera de los métodos habituales, que recoge Grau (1987).

### 7. Detección de movimientos de terreno

Se puede extrapolar, con las debidas modificaciones, una metodología sísmica, como la que desarrolla Sabot et al. (1996), respecto a las avalanchas de nieve, en Los Pirineos catalanes, en la detección precoz de movimientos de terreno, sobre todo si implican la caída de grandes fragmentos de rocas, en una zona de inestabilidades de taludes y laderas, usufructuada por el hombre.

Con una detección precoz de movimientos de terreno, se podrían tomar medidas preventivas:

- que evitasen pérdidas en vidas humanas, y/o
- que amortiguasen los efectos catastróficos en bienes.

En principio, la interpretación de las señales sísmicas, desde una toma automática de señales, permitiría la caracterización de los movimientos del terreno. Según Sabot et al. (1996), el análisis de datos consistiría en una correlación de los registros de las señales, de los movimientos de terreno, con los datos de las condiciones de contorno, a fin de eliminar las señales procedentes de otros fenómenos.

La discriminación, entre las señales, y la eliminación de los ruidos de fondo, se obtendrían gracias a los diferentes métodos de análisis temporal y espectral.

El análisis de las ondas S, P y superficiales, que se crearían en las deformaciones del terreno, determinaría la procedencia de las señales y, por consiguiente, los canales del movimiento, donde ocurrieran los fenómenos.

En realidad, esta metodología se encuentra en una fase experimental, donde se requiere realizar desencadenamientos artificiales de los procesos y efectos, con registros simultáneos:

- de señales sísmicas, y
- de imágenes (a través de videos, por ejemplo).

## 8. Los movimientos de taludes y laderas en relación con los trazados de vías de comunicación y de otros servicios, y con las ocupaciones urbanísticas del territorio

A la hora:

- de diseñar y construir carreteras, autopistas, túneles, galerías, presas y gaseoductos, y de levantar tendidos eléctricos de alta tensión, entre otras obras de infraestructura,
- así como de ocupar urbanísticamente unos terrenos,

es sumamente necesario conocer el comportamiento del terreno, en relación con sus movimientos (desprendimientos, deslizamientos y movimientos de flujo), aparte de otras dinámicas geológicas, que puedan representar grandes riesgos naturales (sea el caso de los movimientos sísmicos).

A menudo, en la construcción de vías de comunicación, se excavan taludes artificiales, que desestabilizan a las vertientes. Pero la necesidad de disponer de unas vías rápidas de comunicación es una demanda de una sociedad en desarrollo. Los problemas de inestabilidades se pretenden resolver con una Ingeniería Moderna.

Dentro del escenario venezolano, un mal uso del terreno, en cuanto al trazado de carreteras, con unas tecnologías de protección deficientes, se encuentra en el Estado Miranda y en el Distrito Federal. Se intervienen terrenos inestables que, por añadidura, encierran fuertes riesgos sísmicos, en el trazado de carreteras.

En este entorno, la inestabilidad del terreno hay que buscarla en tres condiciones de contorno predominantes:

- las fuertes pendientes topográficas,
- las quebradas que se desarrollan en el relieve, y
- las características litológicas de los materiales ocupados.

Se parte de relieves muy apropiados para desarrollar movimientos. Gran parte de la Geología Regional del entorno de Caracas está constituida por rocas metamórficas densamente foliadas y fisuradas, de naturaleza esquistosa-filítica, donde abundan el grafito y minerales de la arcilla como cloritas y moscovitas. Estas composiciones mineralógicas dan carácter lubricante al desplazamiento de las rocas, a favor de las superficies de foliación. Las fisuraciones facilitan el arranque de las láminas de deslizamiento. De esta manera, el conjunto goza de una gran inestabilidad.

Pero estos materiales, ya de por sí inestables, han sufrido una meteorización intensa, por las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidas a lo largo de los tiempos geológicos recientes (abundante presencia de agua como elemento de procesos de hidrólisis, y temperaturas elevadas que potencian las reacciones químicas). El producto final de la meteorización es el aumento de los minerales de la arcilla disponibles, que hacen incrementar el carácter lubricante de la roca.

Por último, hay relieves que son acumulaciones de arrastre de los anteriores materiales, por las aguas superficiales. En estos depósitos, es lógico esperar la existencia de niveles arcillosos, que actúen como niveles de despegue.

Esto explica que la carretera general hacia oriente, tenga un tramo de alta vulnerabilidad y que soporte frecuentes cierres temporales por movimientos reales, o ante eventuales peligros de movimientos de tierra, que ocupen la carretera, o que hagan que la propia carretera se desplaze. Un tramo sumamente sensible sería el que queda delimitado entre Guatire - Caucagua - El Guapo.

En lo que respecta al desarrollo urbano de un territorio, en los ámbitos de las laderas, dentro de este entorno geográfico, se han de tener en cuenta:

- si se ocupa parte del “alcantarillado” de la Naturaleza, y/o
- las características dinámicas del “suelo”.

Cualquiera de las circunstancias anteriores, potenciadas por la presencia de las aguas de arroyadas y de las procedentes de las quebradas, explican, por sí solas, el alto riesgo de siniestralidad ante su ocupación urbanística, sobre todo si se trata de viviendas precarias, sin ningún tipo de garantías técnicas en su construcción, y si el suelo sobre el que se edifica describe pendientes topográficas críticas.

No suelen ser excepcionales las catástrofes, en víctimas humanas, que acontecen en barrios de chabolas (“ranchitos” o “favelas”), edificados en laderas inestables, de las grandes ciudades latinoamericanas. Normalmente, tales catástrofes están ligadas a las fuertes lluvias que acompañan a “ondas tropicales”, o a colas de huracanes.

Un ejemplo cercano se tiene en la ciudad de Caracas (Venezuela). Con el paso de la cola del Huracán Bret, en torno al 7 de agosto de 1993, fue cuantioso:

- el número de pérdidas humanas,
- y de habitáculos,

en algunos barrios periféricos, levantados sobre laderas inestables, y en las quebradas que los atraviesan. A estas pérdidas, hay que añadirles una repotenciación de los problemas sanitarios, con los serios riesgos de epidemias. En realidad, en estos espacios urbanos **inhumanos**, las condiciones sanitarias precarias son una constante.

De nuevo, se deduce la necesidad de disponer de una cartografía morfodinámica, pero sobre todo un Sistema SIG, que permita delimitar zonas de riesgos, para determinados usos y actividades del hombre.

## CAPÍTULO 10

*Los ambientes de estuarios y de deltas*

## E S Q U E M A :

1. Delimitación de los conceptos de deltas y estuarios, características generales e interés ambiental de estos ambientes.
2. Condiciones de contorno.
3. Tipologías, clasificación y evolución de los estuarios.
4. Formas sedimentarias menores en los ambientes estuarinos.
5. Procesos y efectos sedimentarios y erosivos, como modeladores de los deltas, y de la evolución de sus líneas costeras.
6. Procesos de deformación en los deltas.
7. Evolución, clasificación y dimensiones de los deltas.
8. Estudio de casos reales, desde la perspectiva de una Geomorfología Ambiental.

**1. Delimitación de los conceptos de deltas y estuarios, características generales e interés ambiental de estos ambientes**

A manera de inicio, convendría delimitar muy bien los conceptos de estuario, de delta, o de dominios mixtos o deltoides (entre delta y estuario, o de evolución de uno de ellos al otro). Dentro de esta delimitación, se debe estudiar el comportamiento ambiental, y en qué medida se ajusta a unos determinados componentes específicos y característicos de dominios estuarinos, deltaicos o mixtos.

Se establecen significativas diferencias conceptuales entre los ambientes de estuario y de deltas, a pesar de estar ambos relacionados con las desembocaduras de caudalosos ríos, que pudieran proporcionar grandes aportes de sedimentos al litoral.

Las diferencias entre ambos ambientes se establecen de la siguiente manera:

- Los estuarios se refieren a desembocaduras de ríos, comúnmente anchas y en forma de embudo, de fuertes caudales, con la posibilidad de que hayan también importantes aportes sedimentarios, en una bahía, más o menos amplia, donde los agentes de transporte del mar tienen la capacidad suficiente como para transportar la carga sedimentaria continental, que llega a este dominio. Así se produce una evacuación de los materiales mar adentro, junto a otros procesos y efectos de erosión

Conforme con Dunbar y Rodgers (1963), el rasgo esencial de un estuario consiste en que las corrientes de mareas son más efectivas que las corrientes del río, al distribuir los sedimentos en la desembocadura. La evacuación sedimentaria predomina sobre la deposición de áridos.

Como consecuencia de la predominancia de evacuación, “ningún depósito de estuario **auténtico**, según se ha aplicado aquí el término, se conoce en la columna litológica” (Dunbar y Rodgers, 1963).

- Los **deltas** definen a desembocaduras de ríos, de fuertes caudales y aportes sedimentarios, en una línea de costa donde los agentes marinos de transporte (olas, corrientes y mareas) no tienen la capacidad suficiente como para transportar y redistribuir la carga sedimentaria continental, que llega a este dominio. En consecuencia, predominan los procesos y efectos de la deposición sedimentaria, que dan lugar a la formación de potentes depósitos de sedimentos, donde los finos (limos y arcillas) suponen acúmulos muy importantes.

En planta, las formaciones sedimentarias de los deltas suelen desarrollar morfologías triangulares, que recuerdan a la cuarta letra mayúscula (D) del alfabeto griego (de ahí su nombre), surcadas por numerosas y sucesivas bifurcaciones del cauce principal, cuyas desembocaduras secundaria desarrollan flechas, que se clavan, más o menos, en el mar o en un lago.

Los deltas proporcionan los paisajes, no sólo más jóvenes, sino también los más móviles y cambiantes, con la única excepción de los paisajes construidos por la actividad volcánica.

La extraordinaria juventud geológica de todos los deltas ya los convierten en algo muy atractivo, desde un punto de vista natural. En ningún otro escenario geográfico puede apreciarse mejor aquello de que “los paisajes también viven”, y, en consecuencia, evolucionan como todo individuo viviente. Por ejemplo, el Delta del Ebro, en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica, apenas era patente hace unos cuantos siglos. Lo que hoy sobresale y emerge hacia el exterior de la paleo-orilla del mar, se debe a los aportes sedimentarios que el Ebro y sus afluentes han arrancado en toda su cuenca hidrológica.

Como marco de referencia, se puede apuntar que la velocidad de penetración de los deltas hacia el mar (proceso progradante) es muy variable:

- desde los pocos metros por año, como ocurría en el Delta del Nilo, antes de 1964,
- a los 60 metros por año, como se observa en el Po, o en el Mississippi.

Dentro de sus etapas modernas, los estudios de estos ambientes se iniciaron, básicamente, por razones de mejoras de puertos y vías de navegación, y para la prevención de avenidas. En la actualidad, se ha reconocido la importancia de estas formaciones sedimentarias:

- no sólo como zonas agrícolas,
- sino como importantes reservorios de carbón, petróleo y gas natural.

Hoy día, también son considerados como escenarios de interés para otros usufructos del territorio, por las cargas que soportan de calidad natural y de contenidos etnográficos. En muchos casos, representan recursos excelentes de paisajes, que se podrían aprovechar, o que se aprovechan:

- en una industria turística,
- o en el “esparcimiento” del hombre, en un sentido amplio, independientemente de los “dividendos” económicos que proporcionarían, o proporcionen

## 2. Condiciones de contorno

Aquí, se trataría de conocer y comprender las condiciones para poder abordar los rasgos geomorfológicos y los comportamientos inesperados, de determinados escenarios geográficos, lo que facilitaría usufructuarlos adecuadamente. Concepciones equivocadas implicarían diseños de proyectos y realizaciones de intervenciones inapropiadas.

Desde la anterior enmarque, se podría abordar la dualidad estuario - delta, y discutir los condicionantes, o dependencias, de contorno, que hacen que se desarrolle uno u otro de estos dominios geográficos. En realidad, la formación de estuario, o un delta, será la respuesta a un cierto equilibrio entre los condicionantes de contorno, como se desprende del diagrama triangular de Arche (1989).

En relación con los estuarios, se pueden describir los siguientes condicionantes:

- Presencia de amplias oscilaciones astronómicas diurnas, o semidiurnas del nivel del mar, que determinen energéticas corrientes de mareas, y/o aguas agitadas.
- Existencia de otras corrientes litorales, capacitadas para evacuar, hacia el mar adentro, los aportes sedimentarios del río.
- Plataforma litoral próxima relativamente profunda, que actúe de sumidero sedimentario.
- Caída de la carga sedimentaria del río, por causas inherentes a la red hidrológica implicada.
- Elevaciones del nivel del mar.

Para que se dé un dominio deltaico, se requiere que concurren un conjunto de hechos, o que uno de ellos alcance un peso suficiente, como para imponer el carácter en cuestión. Un listado de condicionantes de contorno, al respecto, sería:

- Importantes aportes sedimentarios desde un río, que estarán en dependencia con el clima del área de drenaje, la naturaleza litológica de la superficie de la cuenca hidrológica, y con la vegetación que controla la erosión.
- Pequeñas oscilaciones astronómicas del agua del mar, que no provoquen corrientes significativas de mareas, capaces de transportar, hacia mar adentro, importantes aportes sedimentarios.  
En el Mediterráneo español, donde se encuentra el Delta del Ebro, el rango de mareas está en torno a los 18 centímetros.
- Ausencia de fuertes corrientes de deriva, y de corrientes litorales, que se aproximen, en mucho, a la línea costera.
- Plataforma litoral próxima, relativamente amplia y somera, que sirva de soporte a significativas acumulaciones sedimentarias.
- Descenso del nivel del mar, que favorecerían los procesos de deposición sedimentaria en un litoral.
- Incremento del caudal y de la carga sedimentaria del río implicado, por intervenciones en la red hidrológica, o por variaciones climáticas.
- Y circunstancias tectónicas, donde quedarían incluidas las tectónicas locales y la capacidad de subsidencia del fondo, para almacenar gran cantidad de sedimentos, frente al peso del depósito, por aportes procedentes de la desembocadura de un río.

A causa de los cambios del nivel del mar, o en dependencia con otras variables:

- se puede imprimir, o acentuar, el comportamiento estuarino o deltaico de un río,
- o hacer que un estuario pase a delta, o viceversa.

De esta manera, ante:

- un descenso del nivel del mar, por movimientos eustáticos negativos, o por movimientos epirogénicos positivos,
- y/o un incremento de aportes sedimentarios de un río,

una desembocadura puede evolucionar de estuario a delta, dando una nueva configuración morfológica a la orilla. Pero todo delta no tiene por qué conllevar un carácter precursor de estuario.

A la inversa, frente a una elevación media del nivel del mar, por movimientos eustáticos positivos, o por epirogénicos negativos, una formación deltaica puede adquirir el carácter de disfuncional, y someterse, progresivamente, a procesos de erosión. La morfología específica del delta se iría borrando, con el paso del tiempo. En este proceso de “degradación”, mientras queden las huellas morfológicas de un delta, se estaría delante de una formación **deltoide**.

La tasa de la carga sedimentaria, en la desembocadura de un río, representa a un condicionante a veces decisivo, para que se decante el ambiente como deltaico o estuarino. En general, se forma un delta cuando hay importantes aportes sedimentarios, que impliquen una “carga”, en la desembocadura, que rebase el potencial de transporte de la dinámica litoral, aunque en el ambiente posea aspectos que, con otras descargas menores, determinaran comportamientos estuarinos.

Este es el caso de la desembocadura del Río Orinoco, al Este de Venezuela. Los condicionantes tales como:

- el rango de la marea astronómica (por encima del metro), con las corrientes que implican, - otros agentes de transportes marinos, y
- un sumidero relentizado, por relativas bajas batimetrías de las proximidades oceánicas,

son incapaces de evacuar la totalidad de la carga sedimentaria que llega al mar. La deposición supera a las pérdidas por transportes marinos. A consecuencia de todo esto, se adquiere el comportamiento de delta. Sin embargo, en los “caños” de este Delta, sectorialmente, y durante los vaciados, se dan comportamientos estuarinos, con significativos transportes y erosiones. Las excavaciones toman envergaduras relevantes, adecuadas para permitir la navegación de grandes buques, cosa que sería incompatible con el carácter de delta.

La desembocadura del Orinoco, en definitiva, corresponde, en su conjunto, a un dominio deltaico, que encierra sub-dominios estuarinos (algunos de sus caños). Y esto define, desde un marco de globalidad, a un dominio mixto “delta - estuarino”.

Pero asimismo interviene, para que aparezca un estuario o un delta, el tipo de costa, de acuerdo con clasificación basada en criterios tectónicos, o estructurales.

Sirva de ilustración la desembocadura del Río Manzanares, en Cumaná (Oriente de Venezuela). Por sus:

- importantes caudales,
- abundantes aportes sedimentarios, en dependencia con una cordillera litoral erosionable,
- la tranquilidad de las aguas, de un litoral resguardado de los oleajes dominantes,
- y los rangos poco potentes de las mareas (50 centímetros o menos),

se esperaría un comportamiento que se ajustara, en mucho, a un delta. En cambio, aquí se observan unas pautas de estuario. La explicación se encontraría en que hay una fuerte solicitud de aportes sedimentarios, hacia mar adentro, a causa de un sumidero, que supone la presencia de una profunda fosa (Fosa de Cariaco), en las proximidades de este entorno. Las vigorosas corrientes marinas, en el Golfo de Cariaco (no confundir la Fosa con el Golfo), serían el “vector” que transportaría los sedimentos, desde la desembocadura del Río Manzanares.

Luego una enérgica solicitud sedimentaria y unos medios suficientemente capacitados de transporte sustituyen los condicionantes de unas aguas agitadas y de unas fuertes mareas, para que en la desembocadura de un río caudaloso, con grandes acarreos sedimentarios, se dé un ambiente estuarino, y no deltáico. Y estas condiciones sustitutorias, en el caso que se analiza, vienen impuestas por una fosa (la Fosa de Cariaco), en estrecha dependencia con los límites meridionales de la Placa Caribeña, que desarrolla importantes fallas.

Y el tratamiento de una desembocadura de río, en cuanto a su manejo, es muy diferente, según como tienda a comportarse: como estuario o como delta.

### 3. Tipologías, clasificación y evolución de los estuarios

Básicamente, se establecen dos **tipologías** estuarinas, en ambientes meso o macro-mareales:

1. Estuarios de llanuras costeras, con una amplia plataforma continental, donde los valles fluviales, o de glaciares, han sido invadidos por el mar, normalmente por procesos de movimientos eustáticos positivos, aunque no se deben descartar la participación de movimientos epirogénicos negativos. Se estaría frente a estuarios tipo “ría” o tipo “fjord”.

En los estuarios de esta tipología, se pueden desarrollar formaciones arenosas, a partir de uno o de los dos lados de la bocana. Estos cuerpos deposicionales pueden crecer hacia el interior de los ambientes estuarinos. Funcionalmente, potencial o realmente constituyen trampas sedimentarias de los finos que transporta el río.

2. Estuarios de costas arenosas, que construyen barreras, sean flechas o no, en las desembocaduras de los ríos y/o en los entrantes marinos hacia tierra, pero donde permanecen bocanas y cauces despejados de la sedimentación, por la dinámica hidráulica.

En cualquiera de estos dos tipos límites, los fondos adquieren perfiles de equilibrio y, para ello:

- se desarrollan deposiciones sedimentarias, o
- excavaciones.

En función de las facies de las deposiciones sedimentarias, algunos geólogos describen subtipologías estuarinas.

Independientemente a que tipo pertenezcan, los estuarios se podrían **clasificar** a partir de una o de varias variables combinadas. Estas variables, o factores, que suelen autoalimentarse, serían:

- morfologías de los contornos fisiográficos,
- aspectos endomorfológicos,
- dimensiones del ambiente,

- regímenes de salinidad,
- descargas fluviales,
- sistemas de circulación, incluidos los mareales,
- procesos y efectos sedimentarios, y
- contenidos bióticos.

Algunos de estos factores estarán, a su vez, condicionados por variables tales como:

- naturaleza litológica,
- rasgos texturales y/o estructurales de las rocas, y
- geomorfología costera.

De acuerdo con todas estas variables, y como arranque, se admite la siguiente clasificación de los estuarios:

1. Estuarios con entradas relativamente anchas y profundas, con un intercambio mareal completo.
2. Estuarios con entradas formadas por estrechos canales, en los que las mareas son atenuadas.
3. Y estuarios bloqueados, llamados a comportarse y adquirir la condición de delta, en dependencia con las cargas fluviales. El “bloqueo” se debe al cierre de sus entradas, por el desarrollo de formaciones sedimentarias de contornos (por ejemplo, por una flecha que acabe apoyándose en el margen opuesto de la bocana).

La eficacia de la apertura de las bocanas (el despeje sedimentario) está controlada:

- por la dinámica resultante de la Oceanología del entorno y de las aguas fluviales, y
- por las disponibilidades de aportes sedimentario, con las que jugaría la anterior dinámica.

Si bien se puede dar un circuito vicioso, de mutua influencia, entre efectos sedimentarios y factores dinámicos.

Las amplitudes mareales y las velocidades de sus corrientes, con todas sus consecuencias en los transportes y las deposiciones sedimentarias, disminuyen hacia el interior de los estuarios (hacia aguas arriba de los ríos). Las causas están en los efectos de fricción. No obstante, una disminución de la sección del “canal” puede crear una concentración de energía, que se suele traducir en un incremento de la amplitud mareal.

En relación con las anteriores pautas de comportamiento, algunos autores formulan, o admiten, tres modelos de estuarios, válidos para los dominios definidos entre:

- las bocanas de los mismos,
- y sus cabeceras (donde los ríos dejan de recibir las significativas amplitudes mareales)

Estos modelos pueden soportar una **clasificación energética** de los ambientes estuarinos:

- **Estuarios hipersincrónicos.** El incremento de la amplitud mareal, por concentración energética, y/o por reflexiones de sus ondas sobre los bajíos o bordes, supera la caída por fricción.
- **Estuarios sincrónicos.** Se anulan, por compensaciones, los incrementos y las caídas de las amplitudes mareales. Hay procesos contrapuestos, de magnitudes equiparables, de concentración de energía y de disipación energética por fricción.
- **Estuarios hiposincrónicos.** Predomina la caída de la amplitud mareal, por la fricción.

La mayoría de los estuarios se pueden clasificar como hipersincrónicos. En estos, las corrientes mareales alcanzan sus máximas fuerzas en las partes centrales o altas de los recintos estuarinos.

Como pautas generales, y en principio, los ambientes de estuarios tienden a rellenarse con sedimentos, y así **evolucionar** a deltas. Muchas veces resulta difícil separar los límites entre estuario y delta.

No obstante, los procesos de sedimentación en las desembocaduras de los ríos, y sus efectos (reellenos) son bastante variables. En consecuencia, a lo largo de la costa, se pueden identificar y describir todos los estados de evolución.

## 4. Formas sedimentarias menores en los ambientes

En un texto sobre procesos y efectos sedimentarios, no se podría obviar las formas menores, de los depósitos de áridos, que se forman sobre todo en los tramos últimos de los ríos, que entran en contacto con los dominios marcadamente estuarinos. Muchas de estas formas se leerían como un inicio funcional, o abortado, dentro de una evolución de estuario a delta.

En esta Geomorfología Ambiental, basta con:

- Mencionar la presencia de estos cuerpos sedimentarios, normalmente arenosos, que pueden incluir intercalaciones de finos, y que frecuentemente presentan estratificación y laminación cruzada.
- Hacer una somera sistematización de las formas.
- E indicar posibles distribuciones y ubicaciones de tales peculiares deposiciones sedimentarias, que estarían controladas, entre otros factores, por la asimetría de las corrientes mareales.

En la sistematización, se establecen tres grupos de formas:

**1. Formas emergentes, sinuosas y en lóbulos alargados**, que se ajustan, en cierta medida, al eje longitudinal del cauce generalizado del río. Encajan a cauces secundarios meandriiformes o lineares, en un lecho más amplio, del cauce en plena potencialidad.

**2. Formas emergentes en bajamares, creadas por las corrientes mareales.** Se distribuyen en dos subgrupos:

- **Formas de flujo.** Describen yuxtaposiciones de depósitos “en lengua”, donde las convexidades miran hacia el sentido de avance de la corriente (de mar a tierra). No se descartan la formación de barras transversales, a la dirección de la corriente, progradantes hacia tierra, en posiciones más o menos laterales.
- **Formas de reflujos.** Aparte de otras series de “lenguas”, pero ahora con las convexidades invertidas, son frecuentes encontrar barras transversales, progradantes hacia el mar, en posiciones subcentrales, aunque pueden extenderse lateralmente, hasta los bordes.

**3. Mega-riaduras en los lechos.** Describen sucesiones de “crestas” y “valles”, paralelas, en la mayoría de los casos con separaciones métricas, ortogonales a las direcciones de los flujos y reflujos mareales, que encierran paquetes superpuestos, aparentemente desplazados, de capas inclinadas, buzantes hacia tierra.

A partir de una ondulación inicial dada:

- Durante el flujo, las caras de barlomar soportan un transporte de arenas por arrastres. Una buena parte de los áridos así transportados son retomados, en suspensión, por las “corrientes inferiores botadas”. En la botadura, intervienen las caras de barlomar de las crestas, que alcanzan posiciones más internas. Las suspensiones se depositan en las caras de sotamar, con los que se forman nuevos tramos superpuestos de capas inclinadas, con coronaciones agudas, desplazadas geoméricamente respecto a sus apoyos. Este aparente desplazamiento se debe a que no hay coincidencias entre las superficies de los muros y techos, de las estratificaciones o laminaciones, de consecutivos tramos.
- Y durante los reflujos, se redondean las coronaciones, del último tramo depositado y, como resultado de ello, la ondulación, en su conjunto, se suaviza.

Con las mareas muertas, las capas, de los paquetes de estratificación cruzada, son más delgadas, como respuestas a la caída de las velocidades de las corrientes. Estas se hacen menos energéticas y disminuyen sus capacidades de transportes, con lo que los depósitos serán menos cuantiosos (más delgados). Lo contrario ocurre con las mareas vivas.

Las distintas formas sistematizadas, y otras, son efímeras, y se desplazan de sus posiciones a lo largo del tiempo. Dentro de un ciclo de flujo - reflujos, resulta fácil identificar y describir substanciales cambios.

Entre los numerosos escenarios estuarinos, o próximos a ellos, con formas menores sedimentarias, se puede destacar, a modo de ejemplo, la desembocadura de la Ría de Guernica, en el Cantábrico (Península Ibérica). Aquí, se está en condiciones de levantar, describir e interpretar todo un inventario muy completo de formas menores.

## 5. Procesos efectos sedimentarios y erosivos, como modeladores de los deltas y de la evolución de sus líneas costeras

Normalmente, los deltas se relacionan con glaciaciones, que hacen descender drásticamente el nivel del mar. El descenso eustático provoca una excavación a lo largo del río en cuestión, para crear un nuevo perfil de equilibrio, por erosión remontante. La evacuación y deposición de los materiales permitirán, en determinados escenarios geográficos, la formación de deltas.

Conforme los hielos retroceden (con la interglaciación), se depositan, inicialmente, en la desembocadura, materiales gruesos, sobre todo gravas, que soportarán posteriores deposiciones, avanzantes hacia el mar, de lutitas (limos y arcillas), con niveles intercalados de arenas-gravas y/o de evaporitas, en función de las condiciones ambientales. Los depósitos más recientes y más internos pueden ser, de nuevo, de materiales gruesos (gravas y arenas), junto con lodos orgánicos, en ambientes fluviales, palustres o marinos.

La causa física de la formación de los depósitos sedimentarios, en los deltas, está en la caída brusca de la velocidad del caudal del río, cuando entra en contacto con el agua del mar.

En ausencia de procesos marinos, la sedimentación mecánica está condicionada a tres circunstancias. Que las aguas del río, en la desembocadura, tenga, en relación con el agua del mar:

- igual densidad (situación homopícnica)
- mayor densidad (situación hiperpícnica), o
- menor densidad (situación hipopícnica).

Cuando hay una igualdad en las densidades, como sucede en ocasiones con los ríos que descargan en lagos, se produce un rápida mezcla tridimensional de aguas, cerca de la boca del río, con una veloz sedimentación.

Cuando son más densas, se forman corrientes asimismo densas, que pueden desplazarse lejos de una desembocadura. Se puede prever que gran parte de los sedimentos se evacuan y no harán crecer al delta.

Y cuando son menos densas (los casos más frecuentes, que se protagonizan en los litorales marinos), las aguas de origen fluvial, cargadas de sedimentos, forman plumas superficiales, que se desplazan sobre las aguas de la cuenca receptora.

Para diversos autores, las tres fuerzas básicas, que controlan la física de la deposición sedimentaria en las desembocaduras, son:

- la **inercia** y la difusión turbulenta asociada,
- la **fricción turbulenta** con el fondo de la cuenca receptora, y
- la **flotabilidad del efluente**, con respecto al fluido de la cuenca de recepción.

Estas tres variables están siempre presentes, pero normalmente predomina una sobre las demás.

Un resumen de estas fuerzas, a partir de Arche (1989), podría ser el siguiente:

1. Las **fuerzas de inercia** dominan en la situación de flujo homopícnico. Estas fuerzas son las que llevan, intrínsecamente, el efluente, que tienden a conservarse en el proceso de penetración, en el cuerpo de agua. La carga sedimentaria, en suspensión, determina una diferencia de densidad (mayor en el agua del efluente), que facilita su penetración en el cuerpo de agua receptor.

El flujo de agua, que penetra, adquiere el carácter de turbulento. En sus bordes, se desarrollan remolinos, que ocasionan rápidas difusiones y caídas de velocidades. De esta manera, se da una expansión lateral del agua del río, y bruscamente disminuye la capacidad de transporte.

Los sedimentos, de un efluente de este tipo, se acumulan en una zona estrecha, cercana a la desembocadura, y forma una barra triangular alargada, en el sentido de la orilla, con su eje de simetría según la dirección del cauce.

2. Como la disminución de la profundidad aumenta, con el desarrollo de la barra, se origina una **fricción** con el fondo, con el consecuente incremento de la caída de la velocidad de penetración. Esto conlleva a que progrese una rápida deposición sedimentaria, y a un aumento del tamaño de la barra.

Cuando la barra ha rebasado un determinado tamaño, el flujo se desvía a ambos lados, con lo que aparecen dos canales divergentes.

El proceso puede repetirse en las bocas de los sucesivos canales, dando formas complejas ramificadas.

3. Cuando la densidad del agua del mar es mayor que la del río (circunstancias habituales en los deltas de dominios marinos), las **fuerzas de flotabilidad** toman dominancia. En estos casos, la carga en suspensión del efluente no produce un incremento compensatorio de densidad, para igualar las densidades, entre las aguas dulces y las aguas marinas.

El efluente forma una pluma flotante, sobre el agua del mar. La pluma avanza, hacia mar adentro, en forma de cuña, en sección transversal.

En el contacto agua dulce - agua salada, se produce violentas olas internas, que aceleran la mezcla y, sobre todo, hacen que el efluente pierda velocidad, con las consiguientes sedimentaciones, que no dejan de ser parciales. Estas deposiciones determinan la formación de barras. Más allá de este "límite", la pluma superficial puede seguir expandiéndose, con el transporte de la mayor parte de la carga de finos en suspensión.

Las barras, relacionadas con este proceso de plumas flotantes, tienen secciones lenticulares en planta, y se ubican transversalmente al cauce de penetración. Tales formaciones sedimentarias se desplazan hacia mar adentro, según progredan los depósitos.

Las barras, hacia tierra, suelen estar precedidas por dos "diques" sub-acuáticos paralelos, formados por la deposición de arenas. Estos diques son la prolongación de los "diques" sub-aéreos, que delimitan al canal del efluente.

Dentro de esta mecánica en medios hipopícnicos, se pueden identificar circunstancias secundarias, ligadas a los procesos de sedimentación de áridos. Cabría considerar:

- la sobre-elevación del agua dulce, con respecto a la del mar, que provocaría corrientes asociadas por gradientes de sobre-elevación, en distintas direcciones,
- y el desarrollo de vórtices (pares de células transversales al cauce, divergentes en superficie, y convergentes en el fondo).

Los procesos que se explican mediante fuerzas de inercia, de fricción y de flotabilidad se modifican por la influencia marina:

- de las olas y
- de las mareas.

Y habrán:

- Redistribuciones de áridos, como las que traducen la formación de flechas, por corrientes de deriva, en función con la energía y la oblicuidad del oleaje.
- Evacuaciones de áridos hacia mar adentro, por corrientes de mareas, en ambientes macromareales, y/o por oscilaciones infragravitatorias, de un oleaje energético.
- Posibles destrucciones de formas menores, como las barras en las desembocaduras, frente a grandes rangos de mareas.
- Reajustes topográficos de los fondos. Por ejemplo, reprofundizaciones de los canales de penetración, con enérgicas corrientes de llenados y vaciados mareales.
- Y reajustes en las configuraciones fisiográficas de los contornos, para que describan formas de equilibrio entre las corrientes fluviales y mareales (configuraciones en embudo o en campana).

En los procesos sedimentarios dependientes de las energías de las corrientes, independientemente de las causas de estas, las morfologías de los fondos ejercen importantes controles:

- En las zonas con bajos arenosos, las olas disipan sus energías, y pueden perder sus capacidades de transportar arenas, incluso de diámetros pequeños.
- Mientras que en las zonas que configuran depresiones profundas, el oleaje puede conservar la suficiente energía, para que prosiga un transporte. De depositarse áridos, sólo serán los más gruesos.

Estas dos circunstancias ocasionan una distribución textural, que puede constituir un buen indicador de las variaciones de energía (Álvarez, 1987, y Llano et al. 1991), que a su vez permite el diseño de diagramas de corrientes, con sus sentidos. Se identificarían, por ejemplo, bajo que condiciones habrán, o no, transportes y depósitos hacia tierra.

En la sedimentación de los áridos, también intervienen otros factores físicos, que se expresan mediante:

- la Ley de Stokes, y
- las relaciones entre velocidad de la corriente de transporte y el diámetro de los granos (Diagrama de Hjulström, 1935, y otros).

Conforme con la influencia de las mareas, y desde conceptos puramente físicos, las concentraciones de finos, en suspensión, son menores tras las paradas de pleamares, que después de las retenciones de bajamares. En el primer caso, se dispone de un mayor tiempo de sedimentación, que favorece la deposición.

A estos procesos físicos, hay que sumarles la deposición, por procesos de floculación, de arcillas, que, potencialmente, se podrían mantener en suspensión. Antes de la deposición, las arcillas se encuentran cargadas negativamente, en suspensión indefinida (por la repulsa entre las cargas del mismo signo). El catión Na<sup>+</sup> del agua del mar, anula esta carga, por lo que se favorece la floculación. Para una velocidad óptima de floculación, en laboratorio, se precisa de cationes grandes. En los deltas, ésto no ocurre. La baja velocidad del proceso de floculación se compensa con la enorme cantidad de arcillas disponibles en suspensión.

Otra alternativa para la “precipitación” de arcillas, en laboratorio, sería el empleo de acomplejantes. Hecho que no sucede en los ambientes de delta.

Los depósitos que se forman se clasifican en:

- cohesivos (partículas menores a 125 micras), y
- no cohesivos (mayoritariamente arenas).

En los depósitos cohesivos, aumentan la compactación con un aumento del contenido orgánico, como un factor complementario a la fuerza que ejerce la carga litostática. En los no cohesivos, la compactación depende, principalmente de esta carga.

Arche (1989) retoma y discute la información, de distintos autores, referentes a estos y otros procesos y efectos sedimentarios de la acción marina, y del control tectónico, en los ambientes deltaicos. Como resultado, ofrece una interesante visión global, al respecto.

Según el anterior autor, un delta forma un sistema sedimentario complejo, no un medio uniforme, capaz de desarrollar acumulaciones de áridos muy potentes, de hasta unos 10 kilómetros, en algunos casos. Dependiendo de la zona de observación, se pueden encontrar sedimentos muy diferentes y secuencias verticales variables. Con todo, y conforme con un patrón de comportamiento muy estandarizado, en perfil, y desde el mar hacia tierra, los materiales depositados se distribuyen con las siguientes estructuras:

- capas subhorizontales del tramo altimétricamente inferior,
- capas inclinadas (estratificación cruzada), de una serie intermedia (entre los depósitos más externos e internos), que pueden alcanzar potencias kilométricas, en cortes verticales,
- y capas subhorizontales, correspondientes a los depósitos más altos.

En ocasiones, entre las capas inferiores y las capas intermedias, se imprime una fuerte discordancia angular, que se podría interpretar como una consecuencia de aportes de tipo torrencial.

En general, para el conjunto de estructuras, y en la horizontal, se identifica y se describe una granoselección:

- con los sedimentos más gruesos acumulados cerca de las desembocaduras, y
- los más finos, en áreas más alejadas, hacia mar adentro.

Las capas subhorizontales de mar adentro están formadas sólo por finos. Las plataformas continentales adyacentes también pueden recibir abundantes sedimentos finos.

En la vertical, se encuentra otra gradación de tamaños de granos. Así, en el tramo de las capas inclinadas:

- en la parte superior, de cada nivel, pueden dominar las arenas,
- y en la parte inferior, y a medida que se aproxima al lecho subhorizontal externo, toman progresivamente relevancia los materiales finos.

Las anteriores estructuras y deposiciones sedimentarias configuran:

- Un **prodelta**, constituido por los depósitos externos subhorizontales, con pendientes inferiores, por lo general, a 0.2 grados, donde unos materiales recientes descansan, sin discordancia angular, sobre lechos antiguos.
- Un **predelta** (talud), definido por las capas inclinadas. Describen topografías entre 0.5 y 5 grados, como norma general
- El **frente del delta** (cota de coronación del talud).
- Y la **llanura deltaica**, correspondiente a los depósitos subhorizontales más internos, sobre capas inclinadas, en muy buena parte.

En las llanuras deltaicas:

- de climas áridos, se pueden formar importantes depósitos de evaporitas,
- y bajo climas ecuatoriales y tropicales, puede crecer rápidamente una vegetación, formando extensos y potentes depósitos de turba.

Los depósitos sedimentarios de los deltas son adecuados para la formación de suelos muy fértiles, con mucha vegetación y bosques. Esto, por otra parte, mantienen a los sedimentos estabilizados.

Con la ocupación humana y la agricultura de estos entornos, aumentan los riesgos de incendios forestales. Si a esto se le une el consumo elevado de madera, la consecuencia inmediata es la regresión de los bosques limítrofes, y una desestabilización de los suelos, con una mayor producción sedimentaria. Este aumento de carga del río, no apoyado por un incremento suficiente de la energía del agua en la desembocadura, debido al normal y gradual aumento del nivel del mar, trae consigo la caída de la capacidad de transporte, lo que da lugar a unas progresivas mayores deposiciones sedimentarias, redistribuidas por las corrientes de deriva. Todo esto origina una llanura deltaica, en dependencia con una dinámica mixta: fluvial y marina.

### 6. Procesos de deformación en los deltas

Cuando en los deltas concurren altas tasas de sedimentación, suelen aparecer numerosas deformaciones post-deposicionales, que mueven gran cantidad de áridos. Estas deformaciones están determinadas, básicamente:

- por deslizamientos, y
- por otros movimientos gravitacionales,

sobre pendientes muy pequeñas, habitualmente menores a dos grados.

En general, y según Arche (1989), las deformaciones son respuestas que tienden a anular:

- los gradientes de deposiciones sedimentarias,
- las diferencias de cargas litostáticas,
- las inestabilidades mecánicas,
- las presiones intersticiales (en los poros), que reducen la cohesión, y
- las sobrepresiones de contorno (por los temporales).

Los efectos de estos procesos se clasifican en:

- diapiros de lodo,
- “volcanes” de barro, por escape de gas,
- grabens sedimentarios,
- deslizamientos,
- depresiones de hundimiento, y

- fallas de crecimiento (fallas normales, de superficies cóncavas, que tienden a la horizontalidad en sus extremos distales).

Arche (1989) recopila las definiciones y las descripciones de cada una de estas deformaciones.

En aquellos deltas con intensa utilización humana:

- ocupación urbana,
- tránsito a través de canales de navegación,
- construcción de obras públicas importantes,
- explotaciones de recursos petrolíferos y mineros en general,
- entre otras,

estas deformaciones han producido y/o podrían ocasionar catástrofes, con cuantiosas pérdidas económicas y, a veces, en vidas humanas.

Y se da la paradoja, por otro lado, que las propias actividades antrópicas pueden inducir a la creación, o potenciación, de parte de los factores, que conducen a estos tipos de deformaciones.

De aquí que estos procesos y efectos sean muy necesarios estudiarlos, en sus escenarios geográficos particulares, con todas sus peculiaridades, desde un contexto de medio natural y de medio ambiente.

## 7. Evolución, clasificación y dimensiones de los deltas

La formación de un delta comienza con una intensa sedimentación sub-acuática, por los aportes de la desembocadura de un río. Sólo cuando los depósitos llegan a flor de agua, se desarrolla la parte sub-aérea.

Pueden haber deltas sumergidos, que no llegan a emerger, a causa de las potentes corrientes marinas de su entorno, que transportan a los áridos fluviales hacia mar adentro. Definirían a “**deltas abortados**”, que se manifiestan por ampliar y hacer más someras a las plataformas continentales afectadas, por las acumulaciones de los sedimentos submarinos. Este es el caso que se cartografía en la plataforma continental adyacente a la desembocadura del Río Amazonas, con una superficie modificada de unos 467 000 kilómetros cuadrados.

Anguita y Moreno (1993) admiten que los “**deltas estuarinos**” son rellenos, con áridos procedentes de un río, en una estrecha bahía, pero sin que se llegue a cambiar la línea costera. El depósito sedimentario no emerge por unas evacuaciones significativas. Se tratarían de deltas abortados. Como ejemplo, se cita la desembocadura del Río Sena (Francia).

En relación con el desarrollo sub-aéreo de un delta, se pueden describir, o distinguir, cuatro estadios:

### 1. *Estadio precoz, o de “delta digitiforme”.*

Dentro de este estado, se puede describir cuatro etapas:

- Desarrollo de un lóbulo alargado, que se adentra hacia el mar, por deposiciones aluviales.
- Encajamiento del cauce en el lóbulo.
- Colmatación, por sedimentos, del cauce. Esto favorece los desbordamientos, durante las crecidas, que inundan al lóbulo.
- Y formación de nuevos canales, en el lóbulo inicial, durante los desbordamientos e inundaciones.

La emergencia de la línea de crecimiento y/o la rotura del lóbulo primitivo pueden dar lugar a la formación de islas.

### 2. *Estadio juvenil, o de delta en “pata de ave”.*

A partir de los anteriores nuevos canales, se desarrollan lóbulos de segunda generación, transversales u oblicuos al lóbulo primitivo.

El río abandona un lóbulo cuando ha crecido en demasía. Mientras la parte activa crece, la abandonada puede sufrir el ataque de las olas y de las corrientes.

El conjunto da una configuración, en planta, que hace recordar a la pata de un pájaro.

### 3. *Estadio de evolución intermedia.*

Se desarrollan flechas, por las corrientes de deriva, que van cerrando los espacios abiertos entre lóbulos. Los lóbulos aún se mantienen separados.

### 4. *Estadio de madurez, o de delta “arqueado”.*

Entre los lóbulos, se producen rellenos sedimentarios, favorecidos por los cierres que determinan las flechas, por deposiciones externas, ligadas a los desbordamientos. Traducen estados avanzados de la sedimentación.

Como resultado de estos procesos sedimentarios, se forma una orilla arqueada envolvente.

El Delta del Mississippi dibuja una planta en “pata de ave”, y traduce su juventud, mientras que el Delta del Nilo, ya bastante maduro, adquiere la forma típica triangular, de frente arqueado.

El Delta del Ebro, en el Mediterráneo español, pertenece a una etapa intermedia, de la evolución de los deltas. Presenta el desarrollo de unas potentes flechas, que dan una marcada identidad morfológica a la planta del entorno geográfico. Las dos flechas significativas son:

- la de La Banya, hacia el Sur, y
- la del Fangar, hacia el Norte,

como resultados de un clima marítimo dominante del NE, y de otro reinante del SE, respectivamente.

Las **dimensiones**, en planta, que pueden desarrollar estos ambientes, quedan ilustradas con las de algunos ejemplos.

En el Delta del Nilo, en la actualidad, la ramificación de los cauces se inicia a unos 160 kilómetros, antes de llegar a la costa. La orilla envolvente alcanza una longitud de unos 240 kilómetros.

El Delta del Orinoco (Venezuela) tiene unas dimensiones parecidas a las del Delta del Nilo. En este otro ejemplo, las ramificaciones del cauce se inicia a casi unos 13 kilómetros, aguas arriba de Barrancas, a unos 156 kilómetros de la orilla del mar. El frente del Delta, cuasi arqueado, alcanza unos 260 kilómetros. La llanura deltaica encierra una superficie pantanosa de más de 10 400 kilómetros cuadrados. En este dominio, se pueden observar macros flechas, que se han desarrollado hacia el Oeste, como era de esperar, por el clima marítimo dominante, del NE, y por influencia de la Corriente del Caribe (de Este a Oeste). La macro flecha que más se destaca en las cartografías es la de Punta Bombeador, en la mitad oriental del Delta, con una longitud de unos 22 kilómetros y una amplitud media de unos 9 kilómetros.

## 8. Estudio de casos reales, desde la perspectiva de una geomorfología ambiental

En relación con una Geomorfología Ambiental, hay que considerar dos posibles comportamientos de los deltas, que van a incidir, fuertemente, en el uso de estos territorios. Estos comportamientos son:

- La sedimentación en los caños, con sus repercusiones en la navegabilidad de los mismos. Los problemas que ocasionarían excesos de deposiciones, que podrían llegar a cegarlos, se resolverían mediante obras de ingeniería. En principio, las obras que estrecharan a los caños, harían que aumentaran las velocidades de las aguas encauzadas. Se podrían llegar a velocidades capacitadas para erosionar y transportar, hacia mar adentro, los depósitos sedimentarios indeseados.
- Y el hundimiento de las formaciones sedimentarias, con los riesgos consiguientes, si soportaran determinados usos, como agrarios, industriales, urbanos, etc. Por ejemplo, el Faro de Alejandría, en el Delta del Nilo, que se construyó en tiempos de Alejandro El Magno, sobre tierras emergidas, se ha localizado a bastante metros de profundidad, mar adentro.

Como se apuntó en su momento, las causas de los hundimientos de los deltas son diversas:

- la subsidencia del soporte, por el peso de los sedimentos,
- la compactación de niveles profundos, de la columna litológica depositada,
- algunas fallas de gravedad,
- etc.

Los **problemas inherentes a los hundimientos** se agravan con la construcción de presas, que retienen a los sedimentos, que deberían hacer crecer a los deltas. En general, la construcción generalizada de embalses amenaza a la “estabilidad” dinámica de los deltas. De esta manera, se modifican tales escenarios paisajísticos, no por evolución natural, sino por unos efectos antropológicos. Se estaría ante unos impactos físicos, ciertamente negativos. Se puede llegar a catástrofes ambientales.

En el caso del Delta del Nilo (Egipto), después de la construcción de la represa de Assuán, en 1964, apenas llegan nuevos sedimentos a la desembocadura, mientras que prosigue la subsidencia. No se sustituyen, con aportes de relevo, los depósitos que se hunden en el Delta.

A estos procesos de subsidencia, hay que añadirles las consecuencias de la elevación media del nivel del mar, dentro del “cambio global” por el “efecto invernadero”. Gran parte de las llanuras deltaicas, en hundimiento, serán, muy probablemente, invadidas por agua salada.

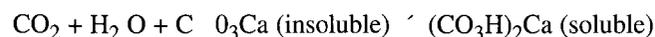
Dentro de un marco de subsidencia y de transgresión marina en los entornos de los deltas, se pueden situar los **aflorescimientos arqueológicos**, que se han descubierto frente a la desembocadura del Nilo, a finales de 1996, por el arqueólogo francés Franc Goddio. En efecto, a varias millas, mar adentro, de la orilla actual, y en una superficie de dimensiones reducidas, se han localizado:

- el supuesto Faro de Alejandría,
- varios palacios, como el de Cleopatra,
- templos,
- avenidas,
- numerosas columnas y estatuas dispersas,
- y otros elementos de la cultura mediterránea, de unos 2 300 a 2 000 años de antigüedad,

que podrían constituir “**un parque arqueológico submarino**”, para sentir “**in situ**” la Historia e impregnarse de ella.

Hasta ahora, este contenido histórico se ha conservado relativamente bien, bajo el agua del mar, pero ¿qué pasará, quizás a corto plazo, a escala de la vida del hombre, con el incremento de la agresividad del agua, a causa de la contaminación antropogénica del Mediterráneo?.

Por los cambios del “**efecto invernadero**”, como respuestas, en parte, a las actividades humanas (?), se estaría recalentando el agua del mar, y esto implicaría una tendencia a la disminución de sus contenidos en CO<sub>2</sub>. Pero estas pérdidas determinarían la preservación de los monumentos sumergidos, que estén labrados en mármoles y calizas. La explicación resulta sencilla. La ecuación de equilibrio:



se desplazaría hacia la izquierda. La preservación, ¿en qué medida contrarresta la agresividad que adquiere el agua por la contaminación?.

Se ha alterado la dinámica sedimentaria del Delta del Nilo, por la construcción de la Presa de Assuán. Y cabe preguntar, ¿cómo afectarían los cambios en los procesos y efectos sedimentarios en los contenidos de ese posible parque arqueológico?.

Y en definitiva, ¿cuál sería la resultante, y de qué signo, de los efectos del conjunto de acciones de la Naturaleza y del hombre, respecto al mantenimiento y perdurabilidad del parque arqueológico?.

En realidad, intervienen efectos de actuaciones transfronterizas, que se ubican en los diferentes pueblos ribereños del Mediterráneo. Estas actuaciones son difíciles:

- de regularlas conforme con una “legislación” supranacional, llámese “directivas” o de otra manera,
- pero sobre todo de controlarlas de forma realista,

para la preservación y usufructo de un “**Patrimonio de la Humanidad**”.

El manejo, en sí, de este parque, sería otra tarea ardua, que se debe diseñar con muchas medidas de precaución, ya que se pone en juego un contenido muy valioso, que representa a una proporción significativa de la “**diversidad cultural**”, heredada de la Historia, que no podemos destruirla a nuestro antojo, o por intereses particulares, incluidos los de algunas naciones.

Existen otros deltas, como el del Tigris, que tienen, por lo contrario, un comportamiento progradante normal, fuera de un contexto de hundimientos. De Anguita y Moreno (1993), se recoge textualmente: “... la progradación ha convertido a la ciudad iraquí de Basora, el puerto desde el que Simbad el Marino recorría los mares, en una ciudad interior, situada a más de 100 kilómetros de las bocas del delta. Incluso la terminal petrolera de Fao, construida hace pocos años a la orilla de uno de los brazos activos del delta, está ya a 10 kilómetro de la costa. El Norte del Emirato de Kuwait comprende la Isla de Bubiyan, una antigua isla del delta ya abandonada por éste: sin duda, una salida más fiable al Golfo Pérsico para el petróleo iraquí. ¿Hasta qué punto estos factores sedimentarios fueron algunos de los detonantes de la crisis política y militar que se desarrolló en los años 1990 y 1991 en el fondo del Golfo Pérsico?”

El Delta del Orinoco, ¿en qué situación se encuentra? ¿En hundimiento? ¿En progradación? ¿Acaso es el resultado del relleno de una bahía, de aguas resguardadas, por lo que la formación sedimentaria emergida no penetró sensiblemente hacia el mar, una vez “regularizada” la línea de costa?. Cualquiera que fueran sus condicionante fisiográficos de contorno, ¿actualmente su prodelta y borde externo emergente están estabilizados? ¿Hasta que punto el Embalse de Guri (el segundo más grande construido por el hombre), u otras represas, afectan, o afectarán a la evolución sedimentaria del Delta?. Estas y otras preguntas se tendrán que contestar:

- si se quiere diseñar un buen ordenamiento de su entorno marítimo - terrestre,
- hacer un correcto planeamiento del mismo, y
- llevar a cabo un manejo adecuado de éste.

Y estas consideraciones provisionales toman especial atención si continúan, hacia adelante, determinados **proyectos de desarrollo de envergadura**, como el Proyecto Cristóbal Colón. Éste, en concreto, pretende, entre otras cosas, la construcciones, en el Golfo de Paria:

- de una planta de licuefacción, en relación con la explotación de gas natural, y
- de un puerto alternativo, de aguas profundas (?),

al abrigo de los temporales del NW por la Península de Paria. Los oleajes del alisio, en esta zona, se encuentran aminorados por la presencia de la Isla de Trinidad, al Este.

El puerto sería la base para regular, principalmente, la explotación de los recursos petrolíferos y de gas natural, que encierran este territorio deltaico.

La viabilidad e idoneidad de las ubicaciones de estas instalaciones, y las características de las mismas, dependerán del comportamiento de la evolución sedimentaria del Delta.

Por otro lado, el Delta del Orinoco contiene un considerable potencial etnográfico:

- por sus habitantes autóctonos, las comunidades de indios Waraos, que se localizan en las riberas de los brazos y caños del Orinoco, y en medios pantanosos,
- por sus haciendas de campesinos,
- por sus palafitos de cazadores y pescadores de río, y
- y por sus caseríos criollos de pescadores marinos, situados cerca del Atlántico,

Las comunidades de indígenas conservan las costumbres, formas de vida, embarcaciones (curiaras) y tipologías edificatorias tradicionales, adaptadas, normalmente, a una vida cotidiana, que transcurre sobre el agua.

La preservación de la riqueza etnográfica no deberá estar reñida con programas de progreso, en relación con la calidad de vida de sus habitantes, siempre que se respeten sus idiosincrasias.

Además, los componentes fisiográficos y biológicos de la calidad natural, o ambiental, adquieren fuerte peso, y se encuentran, en términos generales, en un muy buen estado de conservación. Aquí se desarrolla una de las selvas más espesas e intrincadas de América, poblada por una abundante fauna tropical, e importantes comunidades de plantas acuáticas.

A partir de estos contenidos etnográficos y naturales, se vende el territorio como un producto turístico, hasta ahora de forma incipiente, quizás por fortuna. El turismo, enfocado muchas veces como de aventura y de curiosidades culturales y naturales, como cualquier otra industria, es lícita, y debe dejar ingresos económicos, pero nunca hipotecar las reservas en que se apoyan los recursos a explotar, que podrían pertenecer al **“Patrimonio de la Humanidad”**. El turismo, la agricultura y las explotaciones petroleras, con sus instalaciones, posibles plantas de refinados e industrias anexas, se deberían diseñar y manejar bajo ciertos criterios y cautelas, que aseguren la sustentabilidad del escenario geográfico. El usufructo sustentable implicaría unos sincronismos armoniosos, entre actividades y construcciones de los habitantes autóctonos y alóctonos.

Como ejemplo de **estudio paisajístico**, en uno de estos territorios, se puede tomar el caso del Delta del Ebro (Tarragona, España).

El ambiente tiene una extensión de 2 172 km<sup>2</sup>. De éstos, 320 constituyen la parte emergida (15 %). La amplitud máxima emergida es de unos 24 kilómetros. En la cabecera, según la dirección N-S, se estima una longitud de unos 26 kilómetros. La altitud máxima alcanza 3 metros sobre el nivel del mar. La pendiente media oscila alrededor de 1/10000. El depósito emergido se encuentra subdividido en dos sectores, por el cauce del Río Ebro:

- el lateral Sur, con el 64 % de la superficie, y
- el lateral Norte, con el restante 36 %.

Actualmente, según Serra y Riera (1993), el balance sedimentario, en la desembocadura del Río Ebro, es altamente negativo. Se evalúa un déficit de 250 000 m<sup>3</sup>/año, como resultado de una acumulación del orden de 150 000 m<sup>3</sup>/año y una pérdida de unos 400 000 m<sup>3</sup>/año. Se ha pasado desde un avance de la orilla a un retroceso. Se han identificado retrocesos de la orilla, de hasta tres kilómetros en algunos puntos, en un intervalo de unos pocos años.

Las soluciones a este retroceso pueden estar:

- En la construcción de obras marítimas, con posibles efectos irreversibles, incontrolados y no deseados, en los procesos morfodinámicos del ambiente sedimentario.
- Y en actuaciones blandas, deducidas a partir de la Historia Geológica. Si se conoce cómo ha evolucionado un delta, se pueden identificar las causas, procesos y efectos de su degradación, y prever las correcciones de las causas que determinan los geointactos.

En el Delta del Ebro, se ejemplifica las evoluciones cíclicas del paisaje, condicionadas a los requerimientos agrarios, en este caso, al cultivo del arroz, que ocupa unas 13 500 hectáreas, de las 32060 emergidas. Desde este otro contexto, se identifican y se pueden describir, dentro de un ciclo anual, la sucesión de cinco diferentes escenarios o estadios paisajísticos:

- **Estadio invernal:** Desde diciembre a marzo. Las tierras se encuentran secas y se labran. El paisaje adquiere el aspecto físico característico de tierras de labranza, y una coloración ocre - marrón.
- **Estadio primaveral:** Desde San José (19 de marzo) hasta finales de mayo. Con aguas procedentes del Río Ebro, mediante canales, se inunda artificialmente la tierra, y se siembra el arroz. El paisaje toma un color plateado.
- **Estadio estival:** Durante los meses de junio y julio. La planta de arroz sobresale por encima del agua. El paisaje se presenta como una pradera verde, muy cuidada, a manera de jardín.
- **Estadio otoñal - precoz:** Desde septiembre a mediados de octubre. Es el periodo de la recolección. La planta granada, y a punto de siega, alcanza de unos 70 a 100 centímetros de altura, sobre el nivel del agua. El paisaje toma coloraciones ocre - amarillentas.
- **Estadio meso-otoñal:** A partir de octubre, hasta diciembre. Se hacen las labores preparatorias del ciclo productivo del arroz. Se tritura el rastrojo, con la rueda de agua, para formar un abono natural. Se deja que se evapore el agua. En el paisaje, predominan los colores plateados del agua y los ocres - marrones del suelo.

Dentro de este entorno, las tipologías edificatorias, en cuanto:

- a sus distribuciones espaciales, y
- a sus evoluciones a lo largo del tiempo, en los 200 últimos años (?),

también participan como componente ambiental, muy ligado a las características físicas, incluidas las geológicas, del territorio, y disponibilidades de materiales.

Se pueden identificar y describir:

- viviendas periféricas, tipo masía, de los labriegos, y
- edificaciones entre los cultivos del Delta.

Las masías se ubicaban y se ubican preferentemente hacia el continente (hacia Tortosa). Son casas:

- aisladas, con tierras de cultivo adscritas,
- de características arquitectónicas definidas: constituidas por varias estancias, de 2 ó 3 plantas, con tejados a dos vertientes, aunque también las hay a una única vertiente, y con encalados blancos,
- con edificaciones anexas (almacenes de cosechas y de aperos, garaje, cuadra para animales domésticos y de ayuda de campo y, a veces, horno para el cocido del pan),
- con funciones centradas en la explotación agraria (en el Delta fundamentalmente hortícola),
- regentadas por una familia, que trabaja y vive allí,
- autosuficientes, en el sentido de que tienen agua potable por pozos o cisternas,
- y con algunos árboles junto a la entrada principal, que dan sombras, para el descanso, a la hora de la siesta y en los agradables atardeceres de la primavera y del verano.

La presencia de una rueda de agua, adosada a estas viviendas, da una estampa plástica complementaria en la composición del paisaje.

Con las edificaciones en lugares solitarios, o alejados de los núcleos de población, en el interior de las tierras de cultivo, se pueden establecer, en el tiempo, tres generaciones, de forma muy provisional, a manera de un esquema de arranque:

- **Primera generación:** Barracas de barro, paja y caña. Definen una pequeña estancia, de planta cuadrangular, en muchos casos de menos de 10 metros cuadrados, con techo inclinado, a una sola agua. Algunas tenían la fachada posterior redondeada, para protegerse mejor del viento (cierzo). Estaban destinadas al refugio de cazadores y agricultores (protección de la lluvia y del sol) y para el almacenamiento de aperos, útiles de trabajo y cosechas. Ocasionalmente, pero de forma provisional, podían servir de vivienda, en épocas de faenas agrícolas fuertes, para los peones asalariados, contratados temporalmente
- **Segunda generación:** Barracas de barro, caña y paja, pero donde ya se utilizan la mampostería y el encalado. Mantienen la anterior geometría y funcionalidad. Se colorean. El blanco característico de las masías se podía sustituir, o combinar con otros colores. Solían tener, además, una pequeña huerta. Perteneían a jornaleros asentados.
- **Tercera generación:** Evoluciona la geometría y, a consecuencia de ello, aparecen dos modalidades:

a). Modalidad prismática, con terrado (“terrat”).

b). Modalidad de planta rectangular, con tejado a una, a doble agua o compuestas ( con dos aguas a distintos niveles).

Muchas de las pendientes de los tejados se relacionan con la captura de aguas pluviales, que alimentan a aljibes.

Siguen teniendo dimensiones reducidas, de unos 20 m<sup>2</sup>, por término medio, que corresponden a una sola estancia.

Con frecuencia, presentan un porche, tienen, junto a ellas, una higuera o algún árbol, que proporciona sombra, y suelen llevar adosada una era, que se usa para el secado y trillado del arroz.

Continúan con las funciones de refugio y de almacenamiento de cosechas, aperos y útiles de trabajo, y como viviendas esporádicas.

Independientemente de la modalidad, la mayoría de las edificaciones se encuentran encaladas en blanco. Las restantes presentan el color propio de los materiales de construcción, que pueden ser adobes, piedras, ladrillos y bloques de cemento.

En todas estas construcciones, cuando se emplean la mampostería, los ladrillos proceden de la zona de Amposta y/o Tortosa, fuera de la llanura deltaica, pero dentro del Bajo Valle del Ebro. Las arcillas “deltaicas” no se pueden utilizar para la fabricación de materiales de construcción:

- por sus altos contenidos en sales(el ambiente deltaico es salobre), y
- por sus contenidos en materia orgánica.

El conjunto de tipologías edificatorias determinan composiciones paisajísticas diacrónicas, sincrónicas y anacrónicas, con sus implicaciones en la morfología de su entorno geográfico, y sus traducciones para la formulación de la historia socioeconómica de un territorio, en este caso del Delta del Ebro.

Aquí, el diacronismo se corresponde con la evolución de las edificaciones, desde el tipo barraca, de caña, y paja, revestida, o no, de barro, a las de mampostería.

Ciertamente, habría otra secuencia, en el tiempo, respecto a las dos modalidades básicas de edificaciones de mampostería, lo que traduciría otra evolución diacrónica. Pero en realidad, corresponden a edificaciones muy recientes, que coexisten en un mismo espacio geográfico. Luego, sirven también como para ejemplificar un paisaje sincrónico, de acuerdo con este componente cultural.

Con la excepción de escenarios muy locales, no se da un sincronismo entre las primitivas barracas de caña y las edificaciones de mampostería. La explicación resulta simple. Las primeras son muy perecederas y no perduran lo suficiente, en el tiempo, como para coexistir con otras más recientes.

Los elementos anacrónicos, en un contexto edificatorio, dentro del Delta agrícola, estarían constituidos, en principio, por:

- masías,
- cualquier edificación de tipo “chalet” o “quinta”, y
- máxime, la presencia de edificios de varias plantas.

# CAPÍTULO 11

## Los humedales litorales

### ESQUEMA :

1. Interés del estudio de los humedales.
2. Delimitaciones conceptuales y condiciones de contorno, clasificaciones y denominaciones de los humedales.
3. Origen de las lagunas costeras.
4. Dinámica de las lagunas y charcas costeras.
5. La sedimentación en las lagunas y charcas costeras.
6. Estudio de intervenciones físicas en el litoral, que puedan afectar a lagunas costeras. Estudio de casos concretos.
7. Las llanuras de inundaciones periódicas y sus ocupaciones urbanísticas.
8. Las llanuras costeras de inundación, como escenarios de identidad significativa en paisajes.
9. Ejemplo de evolución de una humedad, ante un uso turístico intensivo.

### 1. Interés del estudio de los humedales

Se admite que los humedales representan:

- un alto potencial de biodiversidad, y
- unos recursos, principalmente naturales vivos renovables, que podrían soportar explotaciones sustentables.

Las anteriores premisas conllevan a que estos dominios constituyan escenarios codiciados de estudios muy necesarios, respecto:

- a sus contenidos biológicos (de flora y de fauna),
- a sus calidades ambientales,
- a las vulnerabilidades de los contenidos biológicos, y
- a las sustentabilidades de proyectos, y/o de actividades ya existentes, con sus fases previas de cálculos de índices de uso y de estimaciones y valoraciones de impactos ambientales, en cuanto al aprovechamiento de recursos.

Los contenidos biológicos, y sus implicaciones, dependen de la formación y evolución del “recipiente físico” de los humedales, donde, normalmente, juega un papel básico el desarrollo de las “barras” externas delimitantes, muy condicionadas por las variables físicas, incluidas las geológicas, que concurren en los entornos geográficos en consideración.

Luego, todos los estudios de humedales, en el marco de una discusión centrada en la tendencia a la estabilidad ecológica de estos sistemas, deben:

- Comprender, obligatoriamente, el comportamiento del biotopo, en cuanto a las causas, variables, dependencias y condicionantes, que han determinado la aparición física del mismo.
- Y soportar, además, identificaciones, descripciones, análisis, cuantificaciones e interpretaciones de vulnerabilidades físicas, que verterán en los estudios de sustentabilidades de proyectos, de explotaciones de recursos.

Frecuentemente, estos aspectos físicos son olvidados en la investigación biológica de los ecosistemas de humedales. En consecuencia, se descartan factores decisivos, que contribuyen a diseñar modelos válidos, que expliquen y predigan, de forma conjunta y concatenada, la dinámica geológica y biológica de los humedales. Y de aquí se deriva que, con tales olvidos, se llega a repercusiones negativas, en la interpretación de los resultados, y en las predicciones de tendencias.

### 2. Delimitaciones conceptuales y condiciones de contorno, clasificaciones y denominaciones de los humedales

En general, se entienden por humedales a cuerpos costeros de agua, resguardados del mar abierto, por formaciones sedimentarias, o rocosas en general, a modo de barras. Estos dominios pueden:

- estar parcial o totalmente colmatados de sedimentos,
- y permitir el desarrollo de comunidades características de vegetación, que, en ocasiones, determinarían denominaciones específicas, para los escenarios en cuestión.

Un listado, ciertamente incompleto, de diferentes ambientes de humedales sería:

- lagunas costeras,
- charcas costeras,
- marismas,
- albuferas,
- marshes,
- ciénagas, y
- llanuras costeras, o de mareas.

Entre estos ambientes, a veces no se pueden definir unos límites claros, y hay, en muchas ocasiones, relaciones evolutivas, en función de variables:

- geográficas,
- oceanológicas,
- geomorfológicas,
- etc.

Las **lagunas costeras** (littoral lagoons) constituyen cuencas, que encierran grandes cuerpos de agua, de longitudes y amplitudes kilométricas, relativamente profundas. Las cuencas están limitadas externamente por barras rocosas de cierre, la mayoría de las veces sedimentarias, que actúan a modo de trampas sedimentarias. No obstante, hay conexiones con el mar abierto:

- mediante una o varias bocanas,
- por infiltraciones laterales, y/o
- por reboses.

Las **charcas costeras** (littoral pond) son espejos de agua con fuerte relevancia, de longitudes y amplitudes más reducidas, respecto a las lagunas, pero principalmente de escasa profundidad, quizás como efecto de un proceso de colmatación sedimentaria, aunque no necesariamente. También, normalmente, presentan bocanas, entre barras rocosas, sedimentarias o no.

En algunas charcas, que ocupan pequeñas depresiones (incluso de dimensiones métricas), relacionadas con infiltraciones laterales del agua del mar, a través de arenas-gravas, son muy espectaculares los cambios del nivel del agua, en relación con las mareas, pero con desfases significativos

Para algunos autores, un **swamp** corresponde a una charca que soporta árboles.

En todos estos ambientes, las aguas son netamente salinas, y frecuentemente tienen una mayor concentración de sales que en el mar circundante.

Estos ambientes se pueden colmar progresivamente de sedimentos. Si los sedimentos proceden, de forma significativa, desde tierra emergida, se desarrollarían, entre otras alternativas posibles:

- marismas y
- albuferas.

Si los áridos proceden esencialmente desde el mar, se podría definir, entre otros, los ambientes de marshes.

Las **marismas** están constituidas, fundamentalmente, por formaciones sedimentarias, que rellenaron antiguas lagunas o charcas costeras. No se deben descartar otros ambientes generadores de marismas, tales como los márgenes de rías.

Las formaciones sedimentarias de marismas contienen un nivel freático muy superficial, y son frecuentemente inundadas por el mar, en mareas altas, sobre todo, si son vivas. Esto implica que las marismas se ubiquen en litorales sometidos a fuertes rangos de mareas. Habitualmente, las aguas que condicionan la biocenosis presentan un marcado carácter de salobridad, debido a su doble procedencia.

Las **albuferas** representan, también, a antiguas lagunas o charcas costeras colmatadas por sedimentos, con un nivel freático muy superficial, que permiten el desarrollo de una red de pequeños canales someros, en un conjunto pantanoso. Se diferencian de las marismas en que, normalmente, no sufren invasiones del mar, al localizarse en litorales de micromareas. En relación con las marismas, sus aguas son menos salobres. Normalmente, representan el soporte de una tupida vegetación herbácea-arbustiva.

Las albuferas, en donde predominan los espejos de agua, en litorales de micromareas, se corresponden, en sentido estricto, con lagunas costeras. En estos casos, la denominación de albufera es, simplemente, un localismo.

Los **marshes** (o **marjales**) están ligados a bahías resguardadas por islas barreras. Consisten en los resultados:

- De deposiciones de áridos, procedentes del mar abierto y/o de la propia isla barrera, durante procesos de temporales, en, o junto a, la cara interna de la isla.
- Y en el asentamiento de determinadas comunidades de vegetales, sobre las anteriores deposiciones, lo que da estabilidad al depósito sedimentario y posibilita el atrapamiento de áridos más finos.

Sucesivas repeticiones, en el tiempo, de estas deposiciones agrandan el afloramiento sedimentario, que adquiere un marcado carácter pantanoso, por un nivel freático muy superficial, a costa de reducir el cuerpo de agua, que se retrae hacia tierra.

Las **ciénagas** (bog) se identifican con bahías de aguas muy resguardadas, pero sin la protección de islas barreras, o barras en general. Se depositan finos (limos y arcillas), de una procedencia mixta (fluvio-marina), aunque podría predominar uno de estos orígenes, según las circunstancias de contorno. A consecuencia de esta sedimentación, se hacen muy somera. Podrían, incluso emerger como terrenos pantanosos, saturados de agua, o con sólo una película constante de agua. Sobre estos fondos se dan comunidades vegetales, en ocasiones emergentes, que determinan acumulaciones de fangos orgánicos.

Algunos de los humedales descritos pueden representar a hábitats de peculiares comunidades vegetales, que darían denominaciones particulares a los ambientes.. Éste sería el caso de los sebadales, formados por angiospermas marinas. Tales plantas desarrollan un entramado de raíces y rizomas, que sustenta a “hojas”, que sobresalen del fondo, pero dentro del cuerpo de agua. Las “hojas” se renuevan anualmente, a modo de un árbol caducifolio.

Los sebadales tienen:

- una reproducción asexual (vegetativa) y
- otra sexual.

El mantenimiento de un sebadal es, básicamente, vegetativo.

La caracterización de los sebadales, por reproducción sexual, está en dependencia con la vida de sus clones, que es de unos 5 000 años (?). Esto quiere decir que para que se desarrollara la “carga genética”, el genotipo, de una pradera inicial destruida, a través de semillas, se tardaría esos 5 000 años.

Conforme con lo anterior, si desapareciera una de estas praderas, por actividades antrópicas, tales como:

- dragados, o
- pescas de arrastre,

se tardaría, en principio, ese periodo de tiempo, para que el genotipo llegase a la situación inicial, de la pradera destruida, por vía sexual. La reproducción asexual, para que regenerara, de forma rápida, la antigua pradera, con el genotipo que alcanzó, estaría imposibilitada, por la inexistencia física de la misma. De aquí la gran pérdida de biodiversidad que se produce con la destrucción de estas praderas, que conllevaría, por otra parte, a la desaparición del cobijo de otras muchas especies.

Entre las praderas de sebadales, si se extrapola la terminología, se pueden citar:

- las de Poseidonea oceánica, en el Mediterráneo,
- las de Cymodocea nodosa, en ámbito de Canarias, y
- las de thalassias, en el Caribe.

En Canarias, los sebadales, relacionados con humedales, están formados por diversas angiospermas, entre otras por la *Ruppia* spp, en la Charca de Maspalomas (¿Existe en la actualidad este sebadal, después de los dragados de “mantenimiento”? ¿Y qué significaría, en el caso de haber ocurrido esta destrucción?).

También entrarían dentro del concepto de humedales las **llanuras costeras**. Se tratarían de superficies de grandes dimensiones relativas, donde se establecen relaciones de desarrollo entre pendientes y regímenes de mareas. Estas relaciones deben apropiarse que periódicamente, como mínimo con carácter anual, se den inundaciones marinas. En los procesos de inundación, juegan un papel decisivo las pleamares vivas, principalmente las equinocciales, y/o los temporales. Además, se caracterizan por una sedimentología de arenas y fangos.

En dependencia con fuertes procesos de evaporación, en periodos de sequedad, las llanuras de mareas forman salinas naturales. Y de aquí que se las denominen, en muchos casos, como **saladares**. La elevada hipersalinidad del medio condiciona la presencia de una biocenosis propia que, en muchos casos, pueden tener un gran interés.

En ocasiones, los saladares proceden de la evolución de ciénagas, tras un proceso de completa colmatación sedimentaria.

### 3. Origen de las lagunas costeras

La formación de lagunas costeras pueden estar condicionadas:

- Por una tectónica. Pero esto no quita que hayan procesos y efectos sedimentarios colaterales. Aquí entrarían las lagunas delimitadas, mar adentro, por ejes de grandes anticlinales, en las costas del “tipo pacífico”.
- O por determinados procesos y efectos sedimentarios significativos.

Dentro del segundo grupo de lagunas, se establecen cuatro subgrupos:

- lagunas por desarrollos de istmos,
- lagunas por paleo - barras de cantos rodados, de rotura de oleaje, que cierran bahías o golfos, a causa de procesos de emersión,
- lagunas por desarrollo de islas barreras, y
- lagunas por cierres “funcionales” de bahías y golfos.

#### a). *Lagunas por desarrollos de istmos.*

En la génesis de las lagunas de este subgrupo, se juega con el triplete:

- antepaís, con una configuración de singularidad geométrica negativa,
- flecha, que se desarrolla a partir de la singularidad geométrica negativa, e
- isla, enfrentada a la singularidad geométrica negativa.

Los otros condicionantes de contorno son, obviamente:

- un clima marítimo, que permita el progreso de la flecha en el sentido de la isla, que estaría aguas abajo,
- y unos aportes de áridos de características apropiadas y en cantidades adecuadas, para que se forme la flecha.

Se puede describir la siguiente secuencia simplificada de acontecimientos:

- En una primera fase, se desarrolla la flecha, normalmente en coincidencia con una glaciación, con un reforzamiento de los procesos de depósito sedimentario, en relación con los de erosión y transporte.
- La flecha sigue creciendo, hasta que se apoye en la isla. Así se forma un golfo.
- Posteriormente, el golfo se cierra, por flechas secundarias, o por cualquier otro tipo de barras. El cierre sedimentario puede contener una o varias bocanas.

#### ***b). Lagunas por paleo barras emergentes de cantos rodados.***

Las barras de cantos rodados, de rotura de oleaje, se acumularon en antiguas interglaciaciones. Al emerger, en posteriores glaciaciones, aíslan cuerpos de aguas, de entrantes del mar, hacia tierra, y se originan las lagunas costeras

Los cierres no se han desarrollado a partir de posiciones “estáticas” de las barras, sino que han podido desplazarse a lo largo del tiempo, conforme la evolución de la paleo - orilla. No obstante, se pueden presentar tramos de barras “estáticos”, donde convergen otros tramos “dinámicos”.

Los afloramientos “lineales” y “subparalelos” de cantos rodados, en La Punta (Isla de Coche, Venezuela) son ejemplos de cambios posicionales de roturas de oleajes, a medida que avanzaba una regresión marina.

La convergencia de estas paleo - barras se pueden describir en las Dunas de Maspalomas (Isla de Gran Canaria, España). Un análisis de estos afloramientos ha servido para identificar las pautas y cuantificar la evolución de la orilla costera, durante una regresión significativa.

Una sucesión de paleo - barras convergentes, ya dentro de un ambiente lagunero, se obtiene en la Laguna de La Restinga (Isla de Margarita, Venezuela).

Y, finalmente, las formaciones de cantos rodados, de la Albufera de Torreblanca, desde Torre La Sal (Castellón, España), ilustran paleo - barras también convergentes, en relación con una laguna costera, que se ha colmatado sedimentariamente, aunque todavía se conserva una situación pantanosa.

#### ***c). Lagunas por desarrollo de islas barreras.***

Las islas barreras forman lagunas cuando se extienden entre promontorios bastante penetrantes.

La isla barrera, que puede incluir una serie de inlets, se pueden deber a una secuencia de acontecimientos, que se pueden resumir de la siguiente manera:

- Depositiones, a modo de barra, mar adentro, y sobre una plataforma litoral, de áridos, que habían sido transportados por una Oceanología de orilla, por ejemplo, por oscilaciones infragravitatorias.
- Bloqueo de los depósitos, ante una disfuncionalidad de la dinámica oceanológica de orilla, o por otras causas.
- Emersión del depósito, normalmente por movimientos eustáticos, que den una resultante de descenso adecuado del nivel medio regional del mar.

#### ***d). Lagunas por cierres “funcionales” de bahías y golfos.***

Los cierres no se deben a dinámicas de tiempos pasados (disfuncionales), sino:

- A flechas, que se forman en la actualidad.
- Y/o a bajos fondos, que emergen a modo de cordones, o barras, por procesos reinantes de acumulaciones sedimentarias. La emersión por regresión marina no tiene incidencia, o sólo representa un factor secundario.

### Dinámica de las lagunas y charcas costeras

A partir de una restricción del esquema de Anadón (1989), en relación con el medio lacustre, se puede formular que la dinámica de las lagunas y charcas costeras está controlada por una serie de variables, entre las que se encuentran:

- la geometría de la cuenca,
- el clima y la meteorología de superficie,
- las propiedades del agua, y
- los aportes sedimentarios externos.

El estudio de esta dinámica resulta indispensable para el análisis de presiones ambientales.

La geometría la define ocho parámetros morfométricos:

- longitud máxima,
- longitud media,
- amplitud máxima,
- amplitud media,
- área,
- profundidad máxima,
- profundidad media, y
- volumen.

Según el autor de referencia, estos parámetros condicionan otras variables, de un conjunto de procesos y efectos:

- posibilidad de estratificación de la masa de agua,
- importancia de las corrientes que se puedan dar,
- caracterización de oleajes internos,
- desarrollo de la biocenosis y de las cadenas tróficas,
- velocidad de alcance de equilibrios ecológicos,
- áreas de influencia de impactos,
- velocidad de propagación de perturbaciones ecológicas,
- etc.

**El clima y la meteorología de superficie** regulan, entre otras cosas:

- los procesos de evaporación, con sus efectos en los cambios de la salinidad del agua,
- la temperatura del agua,
- el oleaje y las corrientes, como consecuencia de los regímenes de los vientos,
- los procesos de aportes de áridos desde tierra y, con ello, la potencialidad y velocidad de la colmatación sedimentaria.

**Las propiedades del agua** consideran:

- La salinidad, expresada por la cantidad de sales disueltas en las aguas.  
En un momento dado, la salinidad es el resultado:
  - a). de unos contenidos previos,
  - b). de los contenidos de los aportes de las aguas dulces de drenaje y de las aguas marinas,
  - c). y de la tasa de evaporación existente.Esta salinidad actúa como barrera selectiva en la diversidad de la biocenosis y en el desarrollo de la biomasa.
- El contenido en oxígeno y en nutrientes, que controla la producción orgánica.  
La eutrofización consiste en una gran demanda de oxígeno, por acumulación de restos orgánicos en el fondo. En una sección vertical, la **oxiclina** es la línea en donde se produce un descenso brusco del contenido de oxígeno.
- La temperatura y la densidad, que dependen de la profundidad, del grado de comunicación con el mar, de la estación del año, de la localización geográfica, del drenaje, etc. Si no existiera viento, se podría describir un perfil vertical gradual descendiente de la temperatura. Sin embargo, por el viento, y con frecuencia, se produce una clara separación entre aguas superiores más calientes e inferiores más frías.

En las lagunas costeras, por sus relativas profundidades someras, no tiene propiedad hablar de una **termoclina**, que correspondería a la línea, en una sección vertical, que separaría, bruscamente, a una capa superior (de temperaturas más altas, o menos densa, con circulación interna y con abundancia de oxígeno), de otra inferior (de temperatura más baja, o más densa, y pobre en oxígeno).

La densidad del agua básicamente depende de la temperatura. La densidad máxima se alcanza a los 40 centígrados. Pero además puede depender de las composiciones químicas y/o de la abundancia de partículas de suspensión.

En una sección vertical, la **picnoclina** sería la línea que separa una capa profunda, de densidad estable, del resto del agua, que puede estratificarse. La profundidad necesaria, para la identificación de la picnoclina, puede ser muy baja. Se dan ejemplos en cuerpos de agua con profundidades máximas en torno a los tres metros, y con profundidades medias de algo más de metro y medio.

## 5. La sedimentación en las lagunas y charcas costeras

La sedimentación, en estos ambientes, están en dependencia con tres tipos de procesos:

- físicos,
- químicos, y
- biológicos,

acoplados, a su vez, a la dinámica que se da en los cuerpos de agua.

Tradicionalmente, se admiten cinco grupos de sedimentos:

- **Litoclásticos:** Depositiones de partículas sólidas procedentes de las destrucciones mecánicas de los relieves circundantes, y que han sido transportadas por las aguas de drenaje encauzadas y por las escorrentías.
- **Químicos:** Precipitaciones de carbonatos y de evaporitas, independientemente que éstas sean bio-inducidas o inorgánicas.
- **Bioquímicos:** Acúmulos de productos de la actividad fisiológica de los organismos.
- **Bioclásticos:** Acumulaciones de organismos mineralizados, y/o de fragmentos de las partes duras mineralizadas.
- **Y orgánicos:** Transformaciones de acúmulos de organismos blandos (no mineralizados).

Por sus procedencias, estos sedimentos se califican como:

- Alógenos, alóctonos o exógenos. Proceden desde el exterior del ambiente sedimentario. Se corresponden con los litoclásticos.
- Endógenos. Se forman in situ, en el ambiente en cuestión.
- Y autógenos. Se producen mediante reacciones posteriores a unas deposiciones generadoras.

Los componentes alógenos permiten, en una primera aproximación, deducir los procesos físicos del contorno, que convergen en el cuerpo de agua. Los componentes endógenos y autógenos pueden revelar los procesos químicos y biológicos que acontecen en las lagunas y charcas. Y todo ello, en su conjunto, es una herramienta para deducir historias morfodinámicas.

Las historias morfodinámicas se pueden completar con la información, de condiciones ambientales, que proporcione una fauna de facies.

Si los distintos acontecimientos se prolongan en “tiempos geológicos”, interesan las dataciones con fósiles característicos, en el supuesto de que existan, aparte de estimaciones de edades, con métodos radiométricos.

## 6. Estudio de intervenciones físicas en el litoral, que puedan afectar a lagunas costeras. Estudio de casos concretos.

Sea la **Laguna de la Restinga**, en la Isla de Margarita (Venezuela). Como recoge Ramírez (1996), el ambiente:

- Sitúa su cuerpo de agua entre los sectores oriental y occidental del territorio insular.
- Describe un triángulo, con una longitud máxima de 23.5 kilómetros (en el margen septentrional), una

anchura máxima de 5 kilómetros, un área de 26 kilómetros cuadrados, una profundidad máxima de 5.6 metros (en las proximidades de la bocana), y un volumen de 14 505 000 metros cúbicos.

- Está delimitada, hacia el Norte, por La Restinga. La comunicación directa entre el espejo de agua y el mar se efectúa hacia el Sur, en las cercanías del pueblo de Boca de Río, mediante un canal de 800 metros de longitud, y de 200 - 300 metros de anchura.
- No tiene aportes regulares de agua dulce. Esporádicamente recibe el agua de quebradas y de esco-rentías.
- Presenta una configuración bastante compleja, de ambientes intercomunicados, tales como sub-lagu-nas, caños, canales y formaciones de mangle.
- Y el mar envolvente es de régimen diurno, por lo común, con una variación de unos 40 centímetros entre pleamar y bajamar

El margen septentrional de la Laguna:

1. Geomorfológicamente, se clasifica como una restinga arenosa, que separa al cuerpo de agua del mar abierto.
2. Tiene:
  - una longitud considerable: 23.5 kilómetros, en un amplio arco cóncavo (observado desde el mar),
  - una amplitud reducida: de más de 300 a menos de 100 metros (alrededor de 1964),
  - una cota de coronación que no supera los dos metros, y
  - encierra una serie de crestas longitudinales paralelas.
3. Corresponde a una barra continua (sin bocanas), cuyos dos extremos se apoyan en el relieve circundante.
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 Cuaternario.
6. Define a una playa arenosa:
  - Abierta a los oleajes del NW, tanto de los temporales relacionados con huracanes potenciales o abor-tados, 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 caracte-rísticas de inusitados.

La invasión del mar, en el caso de verificarse:

- Estaría determinada por un movimiento eustático positivo local o regional, en dependencia, muy pro-bablemente, con el periodo interglacial reinante.
- E implicaría un proceso de retroceso, o erosión, en la orilla externa del depósito playero.

Las **crestas** de la barra se forman, conforme con el modelo de Zarzosa (1974), a partir:

- De un transporte longitudinal de áridos, muy próximo a la orilla.
- De una deposición sedimentaria del transporte longitudinal, que determina acreciones intermareales, yuxtapuestas al depósito existente.
- Y de unas condiciones oceanológicas dominantes, que permiten que las nuevas deposiciones mantengan, significativa y aparentemente, unas características reflectivas, dentro de un comportamiento morfodinámico.

El carácter reflectivo, de darse, bloquearía un transporte transversal.

Como se discutirá más adelante, la capacidad de carga sedimentaria de los transporte de áridos, junto a la orilla, disminuye en el sentido de Este a Oeste. Esto determina que las crestas estén, cada vez, más apretadas hacia el Oeste. Las observaciones de fotografías aéreas identifican y verifican esta tendencia.

Si se extrapola este comportamiento al desarrollo evolutivo de la Laguna, aquí estaría la causa de que el conjunto de barras internas tiendan a converger en el extremo occidental del ambiente sedimentario, durante los cambios posicionales de la orilla, en un avance hacia el mar adentro, en dependencia con una pretérita regresión marina.

Otras formas menores significativas son los **“pasillos de rebose”**. Se deben a circulaciones localizadas de agua del mar, sobre la superficie topográfica de la barra, desde la cara septentrional a la laguna. Se identifican durante situaciones de temporales. Se pueden describir como someros y estrechos “inlets”, de unos pocos metros de anchura, que se sellan rápidamente, por deposiciones de áridos, cuando retornan las situaciones habituales de relativas bonanzas del oleaje.

Un tercer grupo de formas menores corresponden a los **cusps**. Son unas estructuras sedimentarias que casi siempre se pueden identificar en este dominio. Con frecuencia, se identifican varias generaciones de cusps, a distintas altitudes, correspondientes a diferentes situaciones oceanológicas. Las más internas se relacionan con las situaciones relativamente más energéticas y antiguas.

En general, en los procesos sedimentarios de la orilla externa de La Restinga, intervienen:

- un transporte de deriva, hacia el Oeste, y
- en cierto modo, un transporte, también hacia el W, por gradientes de sobre-elevación del agua del mar en el estrán.

El transporte de deriva se relaciona con corrientes longitudinales, en dependencia con el oleaje dominante del NE. Las fuentes de aportes se encontrarían hacia el Este (hacia los Acantilados de la Pachara). El transporte, de Este a Oeste, queda verificado por la localización generalizada de una mayor erosión, en los brazos occidentales de los cusps.

Los transportes por gradientes de sobre-elevación se deberían a los temporales del NW. Al sector más oriental de la barra, llega este oleaje sin difractar, mientras que hacia el Oeste aumenta progresivamente la difracción, con el consiguiente incremento de consumo de energía de las olas. La fuente de aportes de áridos se localizarían en la playa sumergida, y/o en la cabecera de La Restinga (en el Este).

La riqueza decreciente de contenidos en carbonatos de los áridos, en la franja intermareal, de Este a Oeste, como cita Zarzosa (1974), está en coherencia con un dominio en donde se deja sentir, con propiedad, a lo largo del tiempo, las corrientes de sobre-elevación, en el sentido descrito, hacia donde decae la energía de la corriente. Y esto está de acuerdo con las deducciones de Martínez (1987), respecto a este tipo de corrientes.

También se observa que el sector más oriental de la barra está constituido por gravas, mientras que, hacia el Oeste, el depósito está formado, básicamente, por arenas. De aquí se llega de nuevo:

- A la conclusión de que la energía promediada del oleaje incidente, y de sus corrientes asociadas, decae de E a W.
- Y a la explicación de la pérdida de la capacidad de transporte de sedimentos, en el sentido indicado.

La Laguna de La Restinga soporta presiones ambientales, con sus problemas y perturbaciones en el ecosistema. Se pueden inventariar las siguientes presiones, muchas de ellas recogidas por Ramírez (1996):

- Contaminación del agua, como consecuencia de vertidos de aguas negras en los manglares.
- Descarga de residuos de gasolina, de lubricantes y de pinturas, procedentes de las lanchas de uso turístico, y de las embarcaciones de pesca de altura, de unos 18 metros de eslora, por término medio, que anclan junto al puente de Boca de Río, en un “embarcadero” ilegal. De bajamar a pleamar, estos contaminantes se introducen en la Laguna. Los recursos vivos renovables, como las ostras, se contaminan de plomo y de otros metales pesados, como podría ser el mercurio, con todas sus consecuencias.
- Impactos del oleaje, producidos por las lanchas, en los canales de la Laguna.
- Remociones del fondo y cambios bruscos del nivel del agua en las orillas, que sobrevienen por el paso de lanchas a motor.
- Otros, tales como vertidos de desechos sólidos, pesca ilegal y deforestación.
- Contaminación de patógenos y de metales pesados desde la Laguna de Boca de Río, que se halla muy degradada por aguas servidas (vertidos directos) y por residuos sólidos urbanos. La contaminación llega a la Laguna de La Restinga mediante el siguiente mecanismo: Durante el vaciado de la laguna contaminante, de pleamar a bajamar, la contaminación pasa al brazo de agua de Boca de Río, y queda, en una cierta proporción, retenida en las aguas remansadas de los bordes. De bajamar a pleamar, parte de la contaminación se introduce en la Laguna de La Guardia, cuya bocana se encuentra, precisamente, en el anterior brazo de agua.

Por la convergencia de todos estos factores de presiones ambientales, puede ocurrir que se alcance una situación acumulativa crítica, de no tolerancia, que conduzca a una **“desertificación acuática de recursos vivos, explotables o no”**, como ya ha sucedido en otros ambientes lagunares. Considérese el caso de la Albufera de Valencia, en la Península Ibérica.

En el sector de La Restinga, donde incide con más energía el oleaje del NW, se ubica el núcleo urbano de La Guardia. Y esto ha determinado que se dé una serie de problemas ambientales. Desde esta perspectiva, se establecen fácilmente las correspondencias entre:

- los pasos a seguir, y
- procesos oceanológicos, sedimentarios y morfodinámicos, que tienen lugar en la barra septentrional de La Restinga.

De esta manera, se estaría en condiciones para una toma de decisiones, tendentes a la conservación y protección “física” de la laguna costera..

La **detección de posibles problemas** “físicos” se centra en los siguientes aspectos:

1. Identificación, o no, de un retroceso de la orilla externa de la playa de la barra, en su conjunto y sectorialmente.
2. Dedución, o no de una potencial destrucción sectorial de la barra y, desde aquí, erosión lateral de la formación sedimentaria.
3. Como consecuencia de lo anterior, predicción, o no, de la desaparición del ecosistema lagunar o, al menos, una perturbación importante de éste, a corto o medio plazo. En la Laguna, se impondría, o no, aparte de la suya propia, una nueva circulación del agua, a través:

- de la bocana meridional inicial, y
- de otras, labradas por la erosión, cada vez más amplias, en la barra de La Restinga.

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

La **definición de los problemas** 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.

La **asunción de los problemas** 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.

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 una primera aproximación, sería lógico la construcción de obras marítimas, en relación:

- con la protección de la orilla del pueblo, frente a los temporales erosivos, y
- con la creación de un refugio pesquero, resguardado del NW.

Esta obras se realizaron, pero aparecieron nuevos problemas de inestabilidad sedimentaria, aguas abajo, que exigieron otras obras marítimas, básicamente para contrarrestar y controlar los efectos de las primeras.

Las intervenciones, que hasta ahora se han ejecutado, de Este a Oeste, son:

- Construcción de una batería de tres pequeños espigones, de poca envergadura, en los años 60.
- Construcción de una segunda batería de tres espigones, ya con penetraciones significativas, entre los años 78 y 79.
- Levantamiento de dos espigones, con terminaciones curvas, hacia el Este, entre los años 86 y 89.
- Construcción de un espigón en "Y", seguido de dos espigones curvos, también hacia el Este, entre los años 89 y 91.
- Prolongación, hacia el Oeste, de la terminal occidental del espigón en "Y", entre los años 91 - 95.
- Y construcción de una escollera en 1989.

En conjunto, las obras reseñadas han querido resolver unos problemas físicos, sin considerar el esquema procedimental anteriormente descrito. Como consecuencia inmediata de estas obras marítimas, se ha bloqueado parte de los aportes de áridos, hacia el Oeste, por transportes de orilla, en dependencia con el oleaje dominante del alisio y con los temporales del NW.

La fuente de los aportes están, en buena parte, en el Acantilado de la Pachara, al Este de la intervenciones. De entrada, las obras construidas han conllevado a un retroceso inmediato de la orilla, aguas abajo, perfectamente observable, a partir de la escollera. Se estaría ante una consecuencia de las interferencias introducidas en el trayecto inicial de las corrientes y transportes de deriva.

Pero por añadidura, la fuente de aportes de áridos, tras las escolleras:

- de los transportes de sobre - elevación, y
- de los de deriva, que se reiniciarán,

no podría realimentarse desde los relieves de La Pachara.

En este sector oriental de la barra, rebasado, aguas abajo, el dominio de las intervenciones, las pérdidas sedimentarias seguirían siendo las mismas, pero las ganancias habrían disminuido.

Si la totalidad de la barra está sometida a un proceso de regresión, por un ascenso local, o regional, del nivel medio del mar, la interferencia en el transporte longitudinal de áridos, desde su cabecera, acentuará el proceso de retroceso de la orilla, a lo largo de toda la Playa. La deposición sedimentaria intermareal yuxtaposicional no existiría, o quedaría muy reducida, y no podría desacelerar la regresión de la barra. Los inlets, que ocasionalmente se forman, cada vez se sellarían con más dificultad, hasta que permanecieran constantemente abiertos. Entonces, se habría perdido el carácter lagunar, que da identidad al “sistema”, con todas sus repercusiones ambientales. Se ha puesto en peligro la propia existencia de la Laguna como tal.

De todo esto, se deduce que las obras marítimas puntuales de La Guardia tiene su área de influencia en la totalidad de La Restinga, y en la Laguna que encierra.

En la misma Isla de Margarita, se puede describir otras intervenciones, que, hasta cierto punto, repercuten en lagunas costeras. Como ejemplo, se tiene la construcción de un puerto deportivo, denominado “Marina”, en la cabecera de la **Playa de La Caracola**, para un usufructo turístico - recreacional complementario del territorio, sin analizar la sustentabilidad del proyecto, en buena medida ya ejecutado.

La Playa de la Caracola describe, de Norte a Sur:

- un tramo curvo (cóncavo, observado desde el mar), de unos 600 metros de recorrido, y
- otro rectilíneo, de unos 3 kilómetros.

los últimos 1.8 kilómetros del tramo rectilíneo pertenece u una “restinga”, que separa al complejo **Laguna Blanca - Laguna del Morro** del mar abierto. Esta barra tiene una amplitud de unos 150 metros.

La laguna desarrolla una longitud de aproximada de 1.8 kilómetros, en la dirección Norte - Sur. La anchura máxima se aproxima a unos 1.5 kilómetros. La superficie del espejo de agua es de unas 127 hectáreas. Se puede medir profundidades extremas de hasta 3 metros. La bocana se sitúa en el SW, y comunica al cuerpo de agua con la Bahía de Bella Vista (o Bahía de Guaraguao), a través de un caño, de dirección NW - SE, de unos 1 000 metros de longitud y de 30 - 35 metros de anchura.

En este caso, resulta didáctico “un antes” y “un después”.

### **a). Situación previa a la intervención:**

El frente marítimo de La Caracola, en su tramo rectilíneo, recibía un oleaje dominante del NE, bajo dos matizaciones, según los sectores afectados:

1. En las proximidades del trazado curvo septentrional, el oleaje estaba muy difractado, pero con la suficiente oblicuidad como para permitir el desarrollo de corrientes de deriva, hacia el Sur.

2. Y a lo largo del resto de la orilla rectilínea, las olas llegaban menos difractado y, por consiguiente, más oblicuas. Se patentizaban las corrientes de deriva.

Por otra parte, en el estrán que se extiende entre la zona de menos oblicuidad de incidencia del oleaje y el extremo septentrional de la curva, se desarrollaban corrientes por sobre-elevación del nivel medio del agua del mar.

Para completar el escenario, se supone que a la altura de Punta Moreno, hay un banco arenoso, quizás por transferencias desde ámbitos más al Norte.

Estas arenas:

- recalarían a la orilla de La Caracola, y
- formarían parte de dos tipos de transportes, en relación con las corrientes descritas.

En principio, se aceptarían:

- Un transporte, por corrientes de gradientes de sobre-elevación, desde el sector más difractado del tramo rectilíneo hacia el Norte. Alimentarían a las playas de la orilla curva (playas del Hotel Decamerón y del Hotel Hiltón, por ejemplo).
- Y otro, progresivamente más realimentado de arenas, por corrientes de deriva, desde ese sector de menor difracción, pero ahora hacia el Sur.

El transporte de deriva repondría las pérdidas de arenas, en el istmo de La Caracola, originadas:

- por las situaciones de los temporales del NW, o
- ante oleajes muy energéticos del alisio.

#### **b). Situación a partir de la intervención:**

El puerto deportivo se ubicó en el sector rectilíneo de la orilla de La Caracola, donde se daban las mayores difracciones. Se dio la casualidad (?) de que el dique principal, el de mayor envergadura, tiene un trazado casi paralelo a la orilla, pero formando un ángulo de cero grados (?) con las crestas de las olas dominantes del NE. La boca-na se sitúa en el límite meridional de la obra marítima.

Tras esta construcción, y conforme con la expresión de la ecuación que rige el volumen de áridos, en un transporte de deriva, apareció, frente al dique longitudinal, un tramo de transporte impedido. Las corrientes de sobre-elevación se quedaron sin su fuente de aportes de áridos (?). Se esperarían degradaciones sedimentarias en las playas del sector curvo septentrional, ya que habrían disminuidos los aportes de arenas, al tiempo que las pérdidas, por los temporales del NW, no se encontrarían dificultadas. En resumen, se estaría provocando una rotura en el equilibrio de los balances sedimentarios. Las observaciones “in situ” parecen confirmar este comportamiento de una creciente inestabilidad sedimentaria.

Pero además, este dique sería responsable de la generación de una barrera energética transversal, sobre todo ante la incidencia de un oleaje del NE, que rebasase un determinado umbral energético. Como consecuencia de ello, se crearía un obstáculo en la transferencia de áridos, desde la fuente alimentadora (posible banco de áridos sueltos) a la corriente de deriva.

La eficacia de esta “barrera”, en la dinámica sedimentaria, dependerá, entre otros factores:

- de la energía reflejada, en concordancia con las características oceanológicas del oleaje.
- de como decae, hacia mar adentro, la energía reflejada, y
- de la batimetría del fondo del litoral.

En determinadas circunstancias oceanológicas, las corrientes de deriva, al tener reducidas sus cargas sedimentarias:

- No podrán compensar, en la medida en que se hacía anteriormente, las pérdidas de áridos, por temporales del NW. No hay razones para descartar que estas pérdidas sigan acaeciendo, estadísticamente, en la misma cuantía, respecto a la situación previa a las obras marítimas, mientras que se tor-

pedean los procesos sedimentarios del oleaje habitual (moderado) del alisio, que interviene en el mantenimiento de la continuidad, en el tiempo, del brazo de tierra.

- Y/o dispondrán de una mayor capacidad de erosión. La parte de la energía, que se empleaba en el transporte bloqueado, ahora estaría disponible para arrancar y transportar áridos de la orilla.

De esta manera, como resultado de la convergencia de los procesos y efectos sedimentarios formulados, se entraría en una inestabilidad sedimentaria, o se incrementaría esta, en el caso de que ya existiera, en el Istmo de La Caracola, hacia Morro Valdés (Morro de Porlamar). Se habría roto (?), también aquí, el equilibrio del balance sedimentario. Y esto, a su vez, determinaría una puesta en peligro del recipiente físico de Laguna Blanca - Laguna del Morro: Se posibilitaría, o se acentuaría, la destrucción de su cierre físico oriental, el más expuesto a las variaciones oceanológicas.

### 7. Las llanuras de inundaciones periódicas y sus ocupaciones urbanísticas

En el manejo de las llanuras costeras, resultaría impropio planificar y ejecutar usos incompatibles con unas situaciones de "inundaciones periódicas". Con esos usos, se provocarían problemas, a veces de difíciles soluciones, a no ser que se tomaran, de antemano, medidas correctoras. Las mitigaciones previas no deberán causar daños irreparables a la calidad ambiental.

Siguiendo con la filosofía de aprender con ejemplos reales, para no repetir errores, se analiza un caso concreto de intervención urbanística, en uno de estos ambientes.

#### *a). Escenario geográfico del ejemplo.*

En la Isla de Margarita (Venezuela), en su fachada NW, se ubica la amplia Bahía de Pedro González, que encierra varias sub-caletas.

Una de las sub-caletas se encuentra delimitada:

- al Norte, por el Morro de Punta de Güime, junto a las playas de Puerto Viejo y de Puerto Cruz, y
- al Sur, por Punta Zaragoza, el Morro que sustentaba lo que era un duna trepadora, hasta fechas muy recientes (¿1994 ?).

Entre ambos morros, se extiende una continua playa de arenas blancas, muy bella, que se aproxima a los dos kilómetros de longitud. Los morros representan, en sí, puntos singulares de observación (miradores), de paisajes de alta cualificación, para su usufructo.

En el sector centro-meridional de este litoral, se encuentra una llanura de inundación, con una longitud casi kilométrica, y con una anchura de cientos de metros. Los aportes de las aguas de inundación proceden, principalmente, de quebradas (barrancos), y de escorrentía de arroyada. Anualmente, en relación con el periodo de lluvias, se formaba una especie de laguna transitoria, separada del mar por la playa. Si la circulación de agua por filtración, hacia el mar, era insuficiente, para equilibrar la superficie del agua retenida, en determinados momentos se rompía la "barra" playera, y se formaban canales, a modo de esporádicos inlets.

#### *b). Descripción de la intervención.*

En el seno de la anterior llanura, se ha construido la urbanización turística de Dunes, con un "lago", para usufructuar, de forma deportiva - recreacional, y controlar las inundaciones. Pero las aguas de inundación requieren más recipiente, el que se le ha usurpado. Y esto ocasiona, todos los años, problemas de inundaciones en la urbanización.

#### *c). Medidas para resolver los problemas creados.*

Para resolver el problema de las inundaciones, se puede jugar con varias posibilidades:

- **Alternativa cero.** La no intervención respecto al problema. Entonces, la explotación de la urbanización no sería óptima ni aceptable. Las programaciones de la ocupación hotelera tendrían incertidum-

bres (en fechas difíciles de predecir, no se podrían utilizar determinadas instalaciones y “cabañas”). La expansión de la urbanización quedaría hipotecada, ya que los terrenos anexos, según criterios de rentabilidad económica, no serían adecuados para soportar y explotar nuevas edificaciones.

- **Construcción de un canal entre la laguna y el mar.** La canalización precisaría unas obras marítimas de penetración, mar adentro, para evitar bloqueos sedimentarios. Pero esto puede repercutir muy negativamente en los procesos y efectos de erosión, transportes y depósitos de áridos, que determinan los balances de arenas en la playa. Independientemente, la playa perdería su continuidad, con lo que se imposibilitarían los agradables paseos a lo largo de una orilla marina, de dimensiones adecuadas, en su totalidad, para ello. Se estaría atentando con los gustos de los potenciales usuarios, a quienes está dirigida la urbanización. Además, se destruiría la integridad de unos de los componentes de la arquitectura del paisaje, y esto se apreciaría principalmente desde los “miradores de los morros delimitantes. Uno de los reclamos turísticos de la zona perdería potencialidad, y, a corto y medio plazo, se dejaría sentir en la ocupación hotelera de Dunes, y de otros complejos turísticos del entorno.
- **Construcción de un islote, frente a la orilla, que soportara una boca de desagüe, por bombeo, del “lago” y de una “caminería” sobre pilotes, que soportara, adosadas por debajo, las tuberías de la conducción de agua.** Los diseñadores podrían utilizar esta alternativa para ubicar, sobre el islote artificial, servicios que pudieran proporcionar recursos económicos (restaurante, fuente de soda, piscina, etc., ). Además, la caminería serviría para ciertas instalaciones náuticas, deportivas y/o de recreo. La objeción más importante está en que se rompe la unidad paisajística, y se da un aspecto demasiado antropofizado al entorno. Y esto está en contra de las necesidades de los turistas, con unos mínimos de sensibilidad ambiental, y quedaría menguado el aprovechamiento por los lugareños de un escenario geográfico, que permita un usufructo de esparcimiento con la Naturaleza. Por otra parte, las explotaciones adicionales apuntadas, con toda seguridad determinarían determinados impactos ambientales, a evaluar en relación con los proyectos en cuestión.
- **Construcción de un monolito isleo, frente a la orilla, conforme con su entorno geomorfológico, que soporte, en su cara hacia mar adentro, y casi a la altura del nivel del agua, bocanas de desagüe del “lago”. La conducción del agua se haría a través de tuberías enterradas en el fondo.** Esta alternativa sería la más blanda, ante el hecho consumado de la ocupación urbanística del territorio. El monolito isleo en sí no sería un elemento impactante, ya que se ajustaría a los islotes visibles existentes en su entorno próximo, y estaría alejado de la orilla lo suficiente como para no intervenir en la dinámica sedimentaria de la larga playa arenosa. La tubería, al estar enterrada en el fondo, tampoco perturbaría a esta dinámica natural de erosiones, transportes y depósitos de áridos. El funcionamiento del desagüe se haría, básicamente, sin bombeo, mediante el principio de la dinámica de los “vasos comunicantes”. La turbidez (los “turbios”) que aparecerían con los desagües, en cierta manera serían “naturales”. Estos ya acontecían cuando la laguna, de forma esporádica natural, precisaba romper la barrera de playa.

## 8. Las llanuras costeras de inundación, como escenarios de identidad significativa en paisajes

Muchas de esta llanuras pueden:

- Constituir salinas esporádicas, con lagunas y espejos de aguas relícticas.
- Describir paisajes de cambios estacionales, por las evoluciones cromáticas, que conllevan los procesos en la formación de evaporitas. Se puede pasar de coloraciones azuladas de los cuerpos de agua a las coloraciones rojizas - violáceas, por contenidos en manganeso (?), y a blanquecinas, de las sales, cuando las superficies de agua se secan.
- Y contener elementos de rareza biológica, con especial énfasis en las avifaunas, con todo sus potenciales de biodiversidad.

En ocasiones, y respecto al componente arquitectónico del color en estos paisajes, se puede encontrar:

- un cromatismo relativamente “estático” (agua, cielo y vegetación),
- en una fuerte interacción con el cromatismo “dinámico”, dependiente de numerosas aves, y, en mucha menor medida, de las nubes.

La conjunción de todos estos aspectos definen, con frecuencia, paisajes de fuerte personalidad:

- que revaloriza, en mucho, el usufructo recreacional - turístico del territorio, y
- restringe otros posibles usos, en su área geográfica, y en sus entornos próximos, con los que entrarían en incompatibilidades.

Entre numerosos ejemplos de llanuras de inundación costera, de gran interés paisajística, se podrían destacar en el área del Caribe:

- Las Salinas de Chichiriviche, en el Estado Falcón (Venezuela), y
- Las Salinas de la Isla de Coche, en el Estado Nueva Esparta (también en Venezuela).

### 9. Ejemplo de evolución de un humedal, ante un uso turístico intensivo

Bajo este epígrafe, se desarrollarán los siguientes apartados:

- localización geográfica del ejemplo,
- caracterización del ecosistema,
- el proceso de degradación antrópica del escenario seleccionado,
- soluciones actuales, y
- la sustentabilidad del entorno en estudio.

#### a). Localización geográfica del ejemplo

Sea el caso de la Charca de Maspalomas. Esta se localiza en el extremo meridional de la Isla de Gran Canaria (Canarias, España). Sus coordenadas son:

27° 44'00'' N y  
11° 35'00' W.

Se trata de una depresión costera ubicada en la desembocadura del Barranco de Fataga. Tal depresión determina una pequeña laguna de aguas salobres, con una superficie aproximada de 54 314 m<sup>2</sup>. La profundidad no rebasa los 2 metros.

El sistema lacustre forma parte del espacio natural protegido de las Dunas de Maspalomas, y limita con un bosque de palmeras y una área turística de alta densidad urbana, ambas imbricadas entre sí.

#### b). Caracterización del ecosistema.

Se podría considerar a la Charca de Maspalomas como una laguna litoral, de aguas salobres, próxima a una albufera. La geomorfología antecedente, una "caleta", corresponde a la desembocadura del Barranco de Fataga.

La restinga sería una flecha arenosa apoyada, como respuesta a transportes de orilla, ciertamente debilitados, de sentido E-W, en dependencia con el oleaje refractado del N-NE. La singularidad negativa, que provocó el desarrollo inicial de la flecha, está en el extremo del brazo oriental de la barra, que tapona a la desembocadura.

En el entorno de Canarias, el oleaje del N-NE tiene su dominancia, normalmente, desde primavera hasta mediados de otoño.

Con los temporales habituales, la restinga se solía romper localmente, lo que facilitaba la renovación de las aguas de la Charca. Sin embargo, en los últimos años, estos procesos no tenían lugar, ya que se dificultaba la rotura, a causa de la acumulación artificial de arenas, para su ocupación por hamacas (tumbonas). No obstante, los temporales inusitados provocaban y provocan la rotura de esta barra, con lo que las aguas de la Charca se acercaban o acercan, ocasionalmente, a su equilibrio natural.

Las aguas de la Charca son salobres y resultan de los siguientes procesos:

- infiltraciones laterales del agua del mar, relacionadas con las mareas,
- reboses superficiales, en periodos de temporales,
- surgencias de aguas subterráneas, incrementadas por aportes procedentes de aguas de riego, y
- avenidas del Barranco de Fataga.

Las infiltraciones laterales y las surgencias se dificultaban, de forma natural, por tupimientos de las porosidades entre las arenas, a causa de:

- La deposición de fangos, procedentes de la descomposición y fermentación de restos orgánicos, procedentes de vegetales y animales, propios de la Charca.
- La deposición de limos, transportados por las aguas del Barranco de Fataga.
- Y por la floculación en el interior del ambiente.

La floculación se realiza, en principio, a partir de materiales arcillosos, partículas menores a 1/256 mm, que se comportan como coloides, con cargas eléctricas. Los iones Na<sup>+</sup>, del agua del mar, neutralizan las cargas eléctricas negativas de las arcillas en disolución, y provocan su separación del agua y caída por gravedad. Dado el pequeño tamaño de estas partículas, se rellenan los huecos disponibles entre las arenas.

Las arcillas podrían proceder de los transportes, por las aguas del Barranco.

Como consecuencia de estos tres procesos, se reduce drásticamente la permeabilidad del vaso y, como consecuencia, el doble flujo entre la Charca y el exterior.

Según Moreno y Castro (1995), a lo largo de ciclos anuales, las variaciones del nivel del agua denotan pronunciados ascensos y descensos. Si se toma como representativo lo acontecido entre mayo de 1994 y marzo de 1995, la evolución normal del nivel del agua determina un mínimo en mayo, y un incremento progresivo durante el verano, con el pico más acusado en octubre. La diferencia, entre estas dos situaciones extremas, describe una variación de volumen, del agua contenida, de 8 157 m<sup>3</sup> aproximadamente.

A estas estimaciones, hay que añadir las variaciones que provocan las avenidas ocasionales del Barranco de Fataga y los reboses del mar, con los temporales.

Las características físico-químicas del agua, medidas entre marzo de 1994 y marzo de 1995, a las 12.00 y 18.00 horas solares, se resumen de la siguiente manera:

- a). Salinidad: entre 22<sup>o/oo</sup> y 43<sup>o/oo</sup>.
- b). pH: entre 7.57 y 9.51.
- c). Oxígeno disuelto: entre 1.12 y 8.70 mg/l.
- d). Temperatura: entre 19.0 y 32.2 grados centígrados.

El contenido botánico de la Charca de Maspalomas está formado, significativamente;

1. Por algas verdes, de la familia de las Charáceas, concretamente por:

- La Chara globularis, que soporta una alta salinidad marina, y que existía antes de la recuperación.
- Y la Lamprotamium succintum, que, por lo contrario, no soporta una alta salinidad marina. Apareció después de la limpieza de 1987, sin una siembra antrópica.

2. Y por Fanerógamas marinas, la Rupia marítima, que se desarrolla antes y después de la limpieza, pero que actualmente se encuentra en regresión: de cubrir toda la Charca, ha pasado a representar pequeñas manchas.

Conforme con Moreno y Castro (1995), el contenido zoológico, del medio acuático, más significativo, antes y después de la limpieza de 1987, queda restringido a los peces:

- Liza aurata (70.8 % de la biomasa total),
- Chelon labrosus (18.1 %),
- Diplodus sargus (5.4 %), y
- Dicentrarchus punctatus (3.9 %).

La biomasa total de peces está en torno a 230 kg. (1993 - 1995).

**c). El proceso de degradación antrópica de la Charca.**

Hasta las proximidades del año 1972, la Charca gozaba de una salud relativamente aceptable. Los tarajales penetraban en las aguas, desde las dunas próximas, y, puntualmente, se tenían estampas que podían hacer recordar a iniciales manglares.

El biotopo sostenía:

- Una flora y fauna intrínseca, constituida por especies raras y en peligro de extinción, junto a otras más comunes.
- Y una fauna exógena (las aves migratorias), en determinadas épocas del año. El lugar se comportaba como una zona de refugio y/o descanso, de ciertas aves de paso.

Con el inicio de la ocupación urbanística, aparece una contaminación, fuertemente acústica y luminosa, que hace que la Charca deje de ser un lugar de paso de aves migratorias. Esto ya hace que el ambiente pierda calidad.

Por otro lado, se vertían las aguas residuales, de las urbanizaciones próximas. Esto traía consigo la aparición de fangos “negros”, que taponaban, aún más los intersticios de las arenas y dificultaban los flujos de infiltración, al disminuir, considerablemente, la permeabilidad del vaso. Se superponían los tupimientos naturales y los inducidos por las actividades antrópicas. Todo lo anterior determinaba problemas en la renovación del agua, lo que, a su vez, repercutía en las condiciones físicas, que regulaban la estabilidad del ecosistema.

En la actualidad, los vertidos no se dan y, por otra parte, se realizó (otoño de 1987), una eliminación artificial de gran parte de los anteriores fangos (tanto orgánicos como “negros”).

Desde 1995, por la utilización de una ducha pública próxima, de los usuarios de la Playa de Maspalomas, hay un aporte de agua con productos “bronceadores” y similares, a la Charca, que podrían reproducir, en sectores muy puntuales de esta, efectos no deseables, parecidos a los originados, antaño, por las aguas fecales.

Considérese que la suma de pequeñas actuaciones, de por sí sólo poco importantes, podrían ocasionar la aparición de efectos significativos, para el conjunto del ecosistema (Teoría del Caos).

#### **d). El proyecto de recuperación de la Charca.**

Para resolver los problemas de contaminación de la Charca, en 1987 se llevó a cabo un Proyecto de Recuperación. Éste consistió, básicamente:

- En una desecación temporal de la Charca, mediante bombeo.
- En una extracción de arenas contaminadas del fondo y de los laterales.
- En una reposición de arenas limpias, que se extrajeron de las dunas próximas.
- Y, finalmente, en una abertura transitoria de la barra, para el llenado acuático de la Charca.

Se mantuvo el superávit sedimentario artificial sobre la barra, que dificultaba los reboses del agua del mar.

A partir de esta recuperación, periódicamente, casi todos los años, hasta 1992, durante el mes de abril o mayo, en coincidencia con la floración algal, se abría la barra (se labraban pasos o canales), para evitar problemas de anoxia, que producían la muerte masiva de peces. Un error en el cálculo de estas aberturas provocaba “catástrofes” en la biocenosis de este ecosistema degradado, y tenía lugar la muerte masiva de los peces, que no podían resistir la degradación. Desde 1992, hasta mayo de 1995, no hubo mortandades masivas, y no se precisó abrir la barra.

Estas mortandades están muy ligadas a las floraciones algales. Con la llegada de la primavera, se produce un incremento sensible de la temperatura, que permite la producción de floraciones vegetales, especialmente del fitoplancton. La floración reviste especial importancia cuando existen nutrientes (nitrógeno y fósforo), sin limitaciones iniciales. Las muertes del mes de mayo de 1995 posiblemente se relacionen con las lluvias, que acontecieron en el mes de marzo, y que determinaron la introducción, en la Charca, de cantidades suficientes de nutrientes, como para permitir la explosión de las floraciones algales. Cuando se produce una alta densidad de las microalgas, como ocurre en los periodos de mortandades, el agua toma una coloración marrón verdosa, y se impide que la luz solar pueda penetrar hasta el fondo. A consecuencia de ello, se produce la muerte de la vegetación, que soporta el fondo. La vegetación muerta consume una gran cantidad de oxígeno, durante el proceso de putrefacción.

Otros procesos, ciertamente secundarios, de consumo de oxígeno, son:

- La respiración de las microalgas durante las horas de oscuridad. Durante este proceso, además, los vegetales dejan de producir oxígeno.

- Y el escape del oxígeno, disuelto en forma de burbujas, desde la masa de agua a la atmósfera, al mismo tiempo que se impide la incorporación del oxígeno atmosférico al medio acuoso, a causa de las altas temperaturas, que empiezan a reinar con la primavera.

La conjunción de todos estos procesos pueden conducir a episodios de anoxia (falta de oxígeno en el agua).

Evidentemente, los primeros organismos que sufren las consecuencias de falta de oxígeno son los peces. Primero aquellas especies más sensibles, y luego las restantes.

**e). Soluciones actuales.**

En estos momentos, se barajan tres alternativas de intervenciones:

1. En el caso de que no se consiga la regeneración natural de las poblaciones ícnicas, y se considere necesaria la presencia de los peces, como atractivo de este espacio, quizás la estrategia pasaría por favorecer la comunicación periódica con el mar, para permitir la renovación de las poblaciones.
2. Si lo que se pretende es recuperar, de forma natural, un ecosistema en que, posiblemente, todos los componentes del mismo no respondan de igual modo a los intercambios naturales con el medio marino, se considera más acertado no intervenir en la dinámica de la Charca, y continuar llevando a cabo un seguimiento y control de su evolución. Esta alternativa de “intervención cero” es la que ha adoptado, hasta el momento, la Consejería de Medio Ambiente, del Gobierno de Canarias.
3. Una tercera posibilidad, que ya está en consideración, consiste en proveer artificialmente, y sólo en circunstancias muy concretas, de oxígeno al fondo de la Charca, mediante bombeo o inyección forzada, para evitar situaciones de anoxia.

**f). La sustentabilidad de la Charca.**

En este escenario, se pueden calcular y discutir descriptores e indicadores de sustentabilidad, al menos para cinco situaciones o proyectos significativos, a saber:

- Para la presión urbanística turística de las décadas de los años 60 y 70.
- Para la recuperación del año 1987.
- Para la alternativa de optimización, conforme con las comunicaciones periódicas de la Charca con el mar.
- Para la “alternativa cero”.
- Y en relación con inyecciones artificiales y esporádicas de oxígeno.

## C A P Í T U L O 1 2

### *Los relieves de formaciones arrecifales coralinas recientes y sus manejos*

#### E S Q U E M A :

1. Delimitaciones conceptuales y generalidades sobre los arrecifes.
2. Esquema patrón de los mecanismos para la formación de arrecifes, en sentido restringido.
3. Condiciones ambientales (físico-químicas, biológicas y geológicas) que se requieren para desarrollos óptimos de formaciones arrecifales coralinas.
4. Caracterización morfológica y estructural, que pueden compartir los diferentes tipos de arrecifes organógenos.
5. Clasificación, nomenclatura, descripción, origen y evolución de las formaciones arrecifales de organismos vivos.
6. Las formaciones arrecifales y la Geología Histórica.
7. Los arrecifes de Venezuela.
8. Las presiones ambientales en las formaciones arrecifales coralinas.
9. La cooperación internacional en la conservación y recuperación de formaciones arrecifales significativas.

#### 1. Delimitaciones conceptuales y generalidades sobre los arrecifes

Los llamados “arrecifes naturales” corresponden:

**1. En sentido amplio**, a todo bajo en el mar, que pueda entorpecer la circulación de un barco. Por ejemplo:

- A un banco de arena, originado por una corriente, es un arrecife arenoso.
- Y una roca “terrágena” que se eleva hasta la superficie del agua, representa a un arrecife rocoso.

Aquí se entiende por roca “terrágena”, por no encontrar otro término más apropiado, aquella que se ha formado por un conjunto de procesos, entre los que quedan excluidos las participaciones directas de la actividad de los organismos vivos.

Entre los arrecifes rocosos “terrágenos”, tienen especial significado, por los procesos morfodinámicos en los que intervienen:

- Las formas emergidas, o casi emergidas, pero siempre rebajadas, que se levantan en las costas, frente a las orillas, o desde ellas, lateralmente, hacia mar adentro. Pueden actuar como singularidades dinámicas y geométricas de playas, que controlan a los depósitos sedimentarios.
- Y los bajos fondos de las costas, frente a las orillas, que podrían actuar como contenciones de depósitos de playas y de perfiles arenosos de plataformas, y así condicionar las evoluciones de los perfiles más internos de los fondos marinos.

**2. Y en sentido más restringido**, a una estructura construida por organismos vivientes, por sus esqueletos disfuncionales (de organismos ya muertos), y/o por áridos terrágenos, o no, depositados y cementados por la actividad fisiológica:

- que desde un fondo marino, incluido el costero, se eleva hasta la superficie del agua, aunque a veces sólo definen bajos,

- que tiene la suficiente consistencia sólida como para resistir los embates del oleaje, o de otros agentes energéticos oceanológicos, que, sin embargo, no dejan de tener las huellas de una erosión,
- y que determina una zonación de nichos, para habitantes con adaptaciones específicas.

3. Los **seudo-arrecifes**, o semi-arrecifes, se identifican con estructuras inestables de organismos vivos, tales como bancos de moluscos. Carecen de la zonación que proporciona refugio a comunidades específicas.

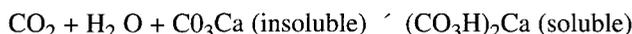
Los arrecifes y semi-arrecifes recientes se identifican con las construcciones de los organismos actualmente vivientes.

Por lo general, se puede definir a un arrecife coralino como un sistema dinámico, que está en constante transformación, constituido, por igual:

- por una estructura, y
- por la variedad características de sus colonizadores.

Las **consideraciones más generales** sobre los arrecifes en sentido restringido, se resumen de la siguiente manera:

- a). La incorporación del carbonato del agua del mar a las formaciones arrecifales, por la intervención de los seres vivos, está regida por la ecuación de equilibrio:



Todo proceso biológico, que consuma  $\text{CO}_2$ , como la fotosíntesis, desequilibrará el sistema. El bicarbonato cálcico se descompone, para que el equilibrio se restablezca, y ello implica la precipitación de carbonato cálcico, que puede entrar a formar parte de los armazones de los edificios arrecifales.

Los animales de esqueleto calcáreo están dotados de una enzima, la anhidrasa carbónica, con la que asimila el dióxido de carbono. Esta asimilación desplaza la ecuación de equilibrio hacia la izquierda, y causa la deposición del carbonato cálcico.

En los arrecifes, el  $\text{CO}_3\text{Ca}$  se encuentra siempre en la forma de aragonito.

- b). La construcción y la consolidación de un arrecife se produce preferentemente en la zona abierta al oleaje dominante, por donde entran los nutrientes. En las partes arrecifales abrigadas, y situadas detrás, predominan los procesos de envejecimiento y de desintegración, y se favorecen la formación de playas. Así, en el caso concreto de un atolón, a consecuencia de las "barreras físicas", que se forman a barlomar, el arco de sotamar está más resguardado:

- de las presiones del agua, de un oleaje dominante, y
- de la llegada de nutrientes.

Y en consecuencia, aquí presentan menos desarrollos las formaciones arrecifales. Por eso, en este arco de sotamar, se localizan las comunicaciones preferenciales, entre la laguna del atolón y el mar abierto.

- c). En condiciones óptimas, el crecimiento, en la vertical, de las formaciones madreporicas, se realiza con una notable rapidez. Por lo general, el desarrollo es del orden de algunos centímetros por año. Se puede llegar a crecimientos de 20 - 30 centímetros.

Para Schuhmacher (1978), el arrecife crece más lentamente que sus corales aislados. Para este autor, a pesar de la escasez de datos disponibles, se admite que la tasa de crecimiento, en la vertical, de un arrecife, se encuentra por debajo de un centímetro anual.

El avance, en la horizontal, resulta más difícil de estimar, por sus propagaciones irregulares, entre otros factores.

- d). Las morfologías planas de las partes superiores en los armazones resistentes, de los arrecifes, se adquieren por dos circunstancias:

- porque los animales no pueden soportar una exposición sub-aérea prolongado, y
- porque sufren los ataques continuos de las olas.

e). El arrecife presenta, a menudo, una fuerte porosidad. Se citan valores de hasta un 50 %. Esta “textura” ha hecho que muchos arrecifes antiguos sean trampas y/o almacenes petrolíferos, en dependencia con el desarrollo de importantes praderas de vegetación en sus entornos, y posteriores deposiciones de finos, que determinan rocas de cierre.

En el Caribe venezolano, el mar tropical no ha cambiado, prácticamente, de posición desde el Cretáceo. Luego, en este escenario geográfico reinaban, desde esos tiempos geológicos, las condiciones necesarias, muy parecidas a las que hoy se dan, para que se formaran arrecifes coralinos antiguos. Estos podrían haberse comportado como trampa y almacén de petróleo. Y sobre tales formaciones arrecifales antiguas, se han construido las actuales.

f). Por sus grandes dimensiones, que a veces desarrollan, los arrecifes influyen considerablemente:

- en las particularidades físicas del medio,
- y con ello, también en la ecología del ambiente.

g). La capacidad de desarrollo de los corales arrecifales permite una variedad de modos de vida, que no serán posibles en otros lugares del fondo marino, o en aguas libres. Esta capacidad de desarrollo conduce a un incremento:

- en la riqueza de formas y
- del metabolismo

de la fauna y flora marina

Resulta impresionante el crecimiento súbito de la diversidad de la vida. La presencia de tantas especies, en un espacio tan reducido, es una señal de la abundancia de posibilidades distintas de vida, que se posibilitan. De aquí, que den cobijo a una rica biodiversidad, tanto de flora como de fauna.

En definitiva, las comunidades biológicas, que habitan en los arrecifes, determinan el aspecto del paisaje submarino, que se desarrolla en amplias zonas costeras.

h). Entre los arrecifes de organismos vivos, se encuentran los coralinos, en conjunción, o no, con las algas calcáreas. La “convivencia” entre colonias de corales y algas calcáreas se pueden dar en toda una serie de proporciones. De esta manera se puede distinguir entre:

- arrecifes significativamente coralinos, y
- arrecifes esencialmente de algas calcáreas, en un ambiente de corales.

Los madreporarios representan a los corales que intervienen decisivamente, en la formación de los grandes arrecifes. Estos corales:

- Son generalmente coloniales.
- Y están provistos de esqueletos calcáreos, con los que originan las formaciones arrecifales, que alcanzan notables desarrollos en los mares intertropicales y subtropicales.

En los arrecifes de madreporas:

- El desarrollo se relaciona con procesos de gemación.
- Inicialmente se forma una placa calcárea de base, a partir de la fijación de una primera plánula.
- Y desde la placa de base, los pólipos se elevan poco a poco, y forman, sucesivamente otras placas, llamadas tábulas.

i) Según D’Ancona (1972), los madreporarios se encuentran difundidos entre los 30° de latitud Norte y los 30° de latitud Sur.

j) El “biohermo” define a la construcción de corales vivos, mientras que el “biostromo” hace referencia a una acumulación de áridos biógenos, procedentes de la destrucción de un coral.

k). Aparte de los corales y de las algas calcáreas, también pueden participar, o construir por sí mismos arrecifes recientes:

- Los grandes desarrollos de comunidades de verméticos (caracoles sésiles, de caparzones vermiformes, estirados o enrollados irregularmente, con crecimientos dirigidos hacia arriba). Arrecifes de este tipo se encuentran en la costa SW de Florida.
- Y los gusanos tubícolas, de la familia de los sabélidos. Construyen los tubos, donde habitan, con pequeños granos de arena, cementados y endurecidos por la precipitación química de carbonato cálcico. En estos arrecifes, no se crean “cosmos” tan ricos como en los coralinos y en los de algas. Ejemplos de arrecifes de gusanos tubícolas se localizan, asimismo, en la costa de Florida.

## 2. Esquema patrón de los mecanismos para la formación de arrecifes, en sentido restringido

En términos generales, en la formación de un arrecife intervienen cuatro procesos:

- Establecimiento de armazones primitivos.
- Uniones entre los elementos de los distintos armazones.
- Sedimentación. Se depositan, por ejemplo, fragmentos de conchas, entre los espacios laberínticos, que se van creando.
- Y cementación de las uniones y de las sedimentaciones. Los factores que controlan la cementación, por carbonato cálcico, son, entre otros, la temperatura, la concentración de CO<sub>2</sub> y la evaporación.

Dentro de los corales madreporarios, el género *Acropora*:

- Tiene un rápido desarrollo, en forma de ménsula, o en ramificaciones, a modo de arbusto.
- Y ocupa una situación especial en el interior del arrecife, por representar el principal constructor del armazón.

La ausencia de este género dificulta, en mucho, el afianzamiento y el crecimiento del arrecife, frente a las constantes fuerzas agresivas del entorno.

## 3. Condiciones ambientales (físico-químicas, biológicas y geológicas) que se requieren para desarrollos óptimos de formaciones arrecifales coralinas

Los arrecifes de organismos vivos tienen una exigente ecología. Por ello, acusan profundamente los cambios ambientales.

Los arrecifes de corales precisan, en general, las siguientes condicionantes de contorno:

### a). Aguas templadas.

En relación con la formación de CO<sub>3</sub>Ca, el rango óptimo de temperaturas se encuentra entre los 25 y los 27 grados centígrados. Por debajo de los 20 y por encima de los 30 grados centígrados, apenas si hay síntesis de CO<sub>3</sub>Ca.

Desde otro enfoque, y como recoge Sorikin (1995), si se supera el umbral de los 30 grados centígrados (por encima de los 32 - 33 grados), los arrecifes segregan, en exceso, un mucus. El mucus estimula el crecimiento microbial en el agua y en la superficie de los corales. Los microbios harán que ciertos corales pierdan gradualmente sus tejidos y que, finalmente, mueran.

Raramente aparecen formaciones coralinas a temperaturas inferiores a los 20<sup>o</sup> C.

Las fluctuaciones crecientes, en la temperatura del agua, en verano y en invierno, por encima y por debajo de las latitudes que delimitan el área de potencial desarrollo arrecifal, hacen que disminuyan el número de especies coralinas, hacia el Norte y hacia el Sur de la zona ecuatorial.

La temperatura del medio está condicionada por el modelo de circulación de las aguas marinas. Schuhmacher (1978) hace una buena discusión, donde relaciona las distribuciones de los arrecifes, en función de las corrientes marinas, en su conjunto.

**b). Aguas límpidas.**

**c). Unos soportes rocosos a poca profundidad.** Las profundidades deben ser menores a los 50 metros.

Los dos últimos condicionantes se deben a la necesidad de luz de las algas calcáreas, asociadas simbióticamente a los corales de los arrecifes. La explicación de esta necesidad es sencilla: Las algas calcáreas, como toda planta, precisan de la luz, para la fotosíntesis.

La luminosidad disminuye con aumentos:

- tanto de la turbidez,
- como de la profundidad.

Estos dos factores impiden la penetración de la luminosidad en el agua del mar.

La ausencia de turbidez, que hace que las aguas tengan las características de límpidas, implica la inexistencia de desembocaduras de ríos, en las proximidades de los entornos de arrecifes coralinos.

Por otra parte, los corales son animales fijos, y, por tanto, incapaces de sobrevivir, cuando quedan cubiertos por áridos. Por eso, no pueden estar en las proximidades de fuentes de aportes sedimentarios. Los pólipos coralinos, de tamaños milimétricos, o centimétricos como máximo, tienen cierta capacidad para alejar granos pequeños de arenas, o de finos, que en ocasiones se depositan sobre ellos. Sin embargo, tasas de deposición que rebasen un determinado umbral, los ahogan. Aquí se encuentra el motivo de la interrupción, de más de 3 000 kilómetros, en la cadena de arrecifes, que se extienden desde el Sur de Río de Janeiro hasta Florida, por los aportes sedimentarios constantes de los ríos:

- Amazonas, principalmente, y
- Orinoco, en menor medida.

Para Schuhmacher (1978), normalmente los manglares y los corales son excluyentes. Los manglares implica la existencia de áridos, principalmente lodos, que quedan retenidos por las raíces. Y estos áridos, en el medio, representan a condicionantes negativos de contorno, para el desarrollo de los corales. En tales circunstancias, los arrecifes se ubicarían a una considerable distancia del litoral, si se dan las condiciones ambientales favorables. Pero, ¿la presencia de manglares, por retener, precisamente a los áridos, no darían lugar a aguas limpias, que permitirían la formación de arrecifes en sus proximidades?. Y la destrucción de manglares ¿no crearían unas condiciones inapropiadas para el crecimiento de los arrecifes coralinos, a causa de que no habría un agente que bloqueara a los sedimentos en arrastre o en suspensión, que provocarían las turbideces, capaces de llegar a grandes distancias de la orilla, por agentes de transporte oceanológicos?.

Por otra parte, las observaciones, in situ, de abundantes manglares, en las proximidades de activos arrecifes en parche, dentro del Parque Nacional de Los Roques (Venezuela), pone en entredicho la anterior incompatibilidad, por lo menos a escala regional, y verifica el papel de esta comunidad de vegetales, en limpiar a las aguas, para que puedan vivir los corales.

**d). Presencia de la alga zooxantela.**

Sólo las especies coralinas poseedoras de zooxantelas presentan una tasa de formación de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  tan elevada, que pueden reparar, o contrarrestar, rápidamente los daños ocasionados por la bioerosión y por el oleaje, en el esqueleto arrecifal, y construir, a partir de aquí, los edificios de los grandes arrecifes.

Los corales expulsan a las zooxantelas, por stress físico, a partir de los 30<sup>0</sup> C.

Como indica Schuhmacher (1978), la simbiosis entre:

- las especies significativas de corales, productoras de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , que forman arrecifes,
- y las algas Zooxantelas,

dan lugar a:

- aumentos de productividad y de biomasa,
- aumentos de superficies de colonización,
- aumentos de nichos ecológicos, y
- aumentos del número de especies.

**e). Salinidades normales** (entre 27 y 40 partes por mil).

**f). Velocidades de los movimientos eustáticos y/o epirogénicos**, que no rebasen un determinado umbral.

Estos movimientos implican cambios relativos de la posición del nivel del mar. No se permite el desarrollo de un arrecife por encima de una determinada velocidad, en relación con la elevación del nivel del mar, que:

- supere la tasa de crecimiento, en la vertical, de los corales,
- y/o dificulte la penetración de la luz, en el armazón vivo.

**g). Corrientes marinas adecuadas.**

De entrada, las corrientes hacen llegar alimentos e hidrógeno, evacua el CO<sub>2</sub>, controla el equilibrio de la temperatura y condiciona la transparencia y la claridad del agua.

La densidad de crecimiento de los corales vivos aumenta, por regla general, con la intensidad del movimiento del agua.

La dirección predominante de la corriente determina la alineación de las formas coloniales individuales.

Además, el número de especies coralinas, en un arrecife, depende de que haya una corriente, que pueda transportar y depositar larvas de coral, que floten en las aguas libres, durante días y semanas, antes de fijarse, procedentes de “aportes” coralinos.

Las corrientes beneficiarias son las ecuatoriales. Se excluye la posibilidad de migraciones a través de corrientes procedentes de latitudes más septentrionales, o meridionales, debido:

- al prolongado tiempo de transporte, y
- a la baja temperatura del agua.

Una corriente ecuatorial, de Este a Oeste, explica, por ejemplo, que los arrecifes coralinos del Índico Occidental y del Pacífico Occidental tengan más especies que los arrecifes del Índico Oriental y del Pacífico Oriental.

**h). Ausencias de aislamientos geográficos.**

Si concurren aislamientos geográficos, se favorecen:

- los empobrecimientos en especies, y
- la aparición de especies endémicas.

Esto es lo que ha acontecido en los solitarios y aislados arrecifes del Índico Oriental y del Pacífico Oriental.

En tiempos geológicos pasados, durante la primera mitad del Terciario, hace aproximadamente unos 50 millones de años, la riqueza en especies, de los arrecifes del Pacífico Oriental, se vio favorecida por una serie de “puntos de apoyo”, por los hoy desaparecidos guyots “superficiales”. En la actualidad, estas formas geológicas se encuentran entre 1 000 y 2 000 metros de profundidad, bajo el nivel del mar, y están imposibilitados, por estas circunstancias, para intervenir como “puentes”, que rompan aislamientos geográficos, entre los arrecifes.

**i). Constitución apropiada de los lechos marinos.**

Los altos esqueletos calcáreos, de formaciones arrecifales, que se encuentran muy extendidos, necesitan puntos de “fijación” sólidos. Los fondos “blandos” (fangos y/o arenas) no son adecuados, aunque no incompatibles.

Se pueden enumerar inevitables excepciones, a esta condiciones de contorno. Así, por ejemplo, se identifican arrecifes de coral, en la costa noruega, que se desarrollan en aguas frías, a unos 70 metros de profundidad.

#### 4. Caracterización morfológica y estructural, que pueden

La caracterización morfológica y estructural, conforme con un modelo patrón, de un arrecife coralino, consta de elementos:

- significativos,
- subordinados, y
- de detalle.

Estos elementos conlleva implicaciones biológicas, en tanto que influye, de manera decisiva, en la composición de las comunidades, de cada zona en particular.

##### a). *Elementos significativos.*

Los elementos significativos son, desde el mar abierto hacia el interior:

- el **talud arrecifal** (parte delantera, que mira al mar, o posterior, de un arrecife, que desciende con fuerte pendiente, o en vertical),
- el **borde arrecifal** (franja estrecha, de transición, entre la llanura arrecifal y el talud),
- la **corona arrecifal** (zona más alta de la llanura arrecifal, en vecindad con el talud),
- y la **llanura arrecifal** (parte superior horizontal, con una superficie de abrasión).

##### b). *Elementos subordinados:*

Estos otros elementos definen:

- .- **Regiones playeras**, de materiales sueltos, normalmente a sotamar de los afloramientos arrecifales, donde se dan situaciones de abrigo, frente a los oleajes dominantes.
- **Beachrock**.
- **Islas de arenas**, sobre soportes arrecifales.
- **Lagunas arrecifales**. Corresponden a masas de agua, separada del mar abierto por un arrecife.
- Y **antearrecifes**. Definen a lechos marinos, hacia mar abierto, tras los taludes, más o menos colonizados por corales y otros organismos arrecifales típicos.

Los **beachrock** describen a capas de áridos cementados. Se observan en las franjas intermareales y en las lagunas de los ambientes arrecifales. Determinan depósitos con superficies planas. A veces, se alzan en bancos rocosos, de varios metros de espesor y de varios metros de longitud.

En ocasiones, por los fragmentos incluyentes de la actividad del hombre, se deduce que, en los beachrock del Pacífico, la cementación calcárea se realiza en unos pocos decenios.

En estos depósitos, los áridos están formados, principalmente, por fragmentos de corales y de moluscos

Los beachrock, y otros componentes de la estructura arrecifal, pueden constituir contenciones y/o diques exentos, que participan en la estabilidad de las playas arenosas emergidas, del ambiente arrecifal.

Las **islas de arenas** adquieren, generalmente, formas:

- circulares, con lagunas centrales, que pueden tener una o varias comunicaciones laterales con el mar circundante,
- o anchas y alargadas, sobre bajos fondos arenosos.

Los áridos proceden de la destrucción de los relieves arrecifales y de los caparzones de moluscos. Los depósitos, que rebasan el nivel del mar, sólo se suelen elevar de 3 a 5 metros. En algunos casos, son partes intrínsecas de la llanura arrecifal.

Las islas de arenas se ubican, preferentemente, sobre las coronas:

- de los arrecifes en barrera, y
- de los arcos de barlomar de los atolones.

El término “cayo” es muy común en el Mar del Caribe. Los cayos serían casos particulares de islas, que describen:

- a isletas aplanadas, frecuentemente anegadizas (inundables),
- sobre antiguos biohermos,
- donde los áridos emergentes y de los fondos próximos a la orilla corresponden a biostromos,
- que suelen estar cubiertas, en gran parte, por mangles.

Algunas alineaciones de cayos representan a los restos de hileras de arrecifes, que se elevaron durante la última interglaciación, hace unos 95 000 años, y que luego sufrieron una erosión, durante la glaciación posterior, más reciente.

En el Parque Nacional de Los Roques (Venezuela), se reserva el nombre de Cayo a la isla arenosa que soporta mangle. Si no está presente las comunidades de esta vegetación, la isla se la denomina, simplemente, **banco de arena**. Dentro de esta delimitación conceptual, y en este Parque, se cartografía unos 50 cayos y unos 200 bancos de arenas, dentro de un recinto elíptico, abierto a sotamar (hacia el Oeste), de unos 46 kilómetros de eje mayor (de dirección E-W), por unos 24 kilómetros de amplitud. Aquí, las toponimias de las distintas islas suelen tener la terminación “qui”, que significa cayo en holandés. Se trata de una influencia de su pasado, como un dominio de Holanda.

En el Parque Nacional de Morrocoy (Venezuela), se encuentran cayos, más o menos sub-esféricos -elípticos, algunos de los cuales muestran muy bien:

- Las emersiones de arrecifes periféricos y de beachrock, por unos descensos relativos del nivel del mar.
- Y posteriores rellenos sedimentarios, en los interiores de los recintos, con áridos procedentes de la destrucción, por la erosión marina, de una parte de los arrecifes periféricos emergentes.

En estos escenarios de Morrocoy:

- Los arrecifes periféricos y los beachrock representan a “contenciones”, respecto a las arenas de las playas, generadas durante los procesos de relleno.
- Y determinadas colonizaciones de vegetales (manglares, uveros, praderas de thalassias, etc.) contribuyen a la estabilidad sedimentaria de las playas arenosas, frente a situaciones de temporales.

### c). Elementos de detalle.

La llanura arrecifal, el borde y el talud contienen, con cierta frecuencia:

- Series de crestas y surcos, por erosión del oleaje, por desarrollos irregulares de corales, o por la actividad de algas calcáreas.  
Las algas rojas, restringidas a la proximidad de la superficie del agua, desprenden incrustaciones calcáreas “duras como el cemento”.
- Convexidades redondeadas, observadas desde arriba, de corales vivos.
- Depresiones cóncavas, labradas en los corales muertos, con tapizados en resaltes angulosos cortantes.
- Depresiones aisladas, en forma de cráteres, de bañera, de pozos, de grutas y de bufaderos.
- Canales profundos (de que pueden llegar a varios metros de anchura), laberintos de espacios intermedios ramificados y de espacios tabulares, todos ellos intercomunicados, que discurren en todas las direcciones.
- Pináculos arrecifales (elementos de rocas coralígenas, que acostumbran a ser más altos que anchos, y que llegan hasta cerca del nivel del agua).
- Y campos de bloques, arrancados del talud arrecifal y depositados en la llanura, durante los temporales.

Esta variedad geométrica posibilita el escondrijo para muy diversas clases de animales pequeños.

Un inventario, con sus definiciones, mucho más completo, de los elementos morfológicos y estructurales de los arrecifes, se encuentra en Schuhmacher (1978), en las páginas 101, 102, 103 y 114.

A causa de que los arrecifes actuales se construyen, con frecuencia, sobre muchas estructuras arrecifales fósiles, que pueden llegar a millones de años de antigüedad, resulta difícil separar la aportación de la última actividad edificatoria, postglacial, en la estructura total.

## 5. Clasificación, nomenclatura, descripción, origen y evolución de las formaciones arrecifales

Sin perder la perspectiva de que, como dice Schuhmacher (1978), "... cada arrecife se debe interpretar como un individuo, que crece y se transforma, y, por esta razón, no existe ningún arrecife idéntico a otro ...", de entrada, y según criterios geométricos, los arrecifes de organismos vivos se clasifican conforme con dos alternativas:

1. Arrecifes en forma de borde, o de ribete, a lo largo de las líneas costeras continentales. Se subclasifican en

- franjeantes, o costeros,
- en barreras,
- en terrazas costeras,
- y en plataforma, en banco y en parche.

2. Y arrecifes anulares, o en plantas redondeadas, que se encuentran aislados en el océano: los atolones.

De estos dos tipos principales, se derivan todas las demás formas arrecifales identificables..

Los arrecifes **franjeantes** forman bancos paralelos a la orilla, y en la propia costa, de colonias coralinas. No dejan laguna costeras intermedias. Pueden desarrollar anchuras de hasta 1 ó 2 kilómetros.

Los **barreras** son formaciones lineales más anchas que los arrecifes franjeantes (de 2 a 15 kilómetros). Se ubican paralelamente a la costa, de la que se encuentra separada por una franja lagunar. Sus longitudes pueden rebasar el millar de millas. Pueden desarrollar potencias de 30 a 70 metros. En las largas formaciones, presentan grandes continuidades, sólo interrumpidas frente a las desembocaduras de los ríos.

Para algunos autores, la barrera arrecifal, alejada de la costa, no es el resto de un arrecife, que se fue desplazando mar adentro lentamente, a partir del litoral, sino que se formó, desde el principio, en el lugar que ocupa actualmente. La altura y tamaño se deben atribuir a movimientos eustáticos y/o epirogénicos.

El lecho de las lagunas costeras está cubierto:

- por lodo calcáreo, en sus partes más profundas, y
- por arenas, en las zonas más superficiales y agitadas.

En conjunto, los sedimentos del "lagoon" se componen:

- de pellets fecales,
- de arenas de foraminíferos,
- de arenas de algas y de corales destruidos,
- de arenas esqueléticas, y
- de lodos calcáreos muy finos.

El tamaño de grano crece a medida que el depósito se aproxima a la barra.

Los arrecifes en **terrazas costeras** construyen amplias formaciones, prácticamente sumergidas, desde las proximidades de la orilla hasta bastante kilómetros mar adentro. Delante de Venezuela, las terrazas se deben, principalmente, a las algas calcáreas, y se podrían describir como densos campos de "estalactitas".

Los arrecifes en **plataforma** se hallan rodeados de agua profunda por todas partes, y se edifican sobre plataformas continentales, o sobre fondos oceánicos, donde quiera que el lecho marino se eleve adecuadamente y se den las con-

diciones ambientales apropiadas. Sus contornos, alargados normalmente, se extienden hacia todas las direcciones. Las dimensiones, en planta, son desde kilométricas a centenares de metros. Presentan techos aplanados.

En la parte más antigua de un arrecife en plataforma, en su parte central, se puede producir una depresión, por el efecto de la erosión, susceptible a ser ocupada por una laguna. En tales casos, se obtendrían arrecifes en plataformas, que se denominarían **pseudoatolones**.

Los arrecife en **banco** se corresponden a un subtipo de arrecife plataforma. Se levantan a modo de colina, o en atril, sobre el fondo marino, sin llegar a alcanzar a la superficie. Normalmente permanecen a uno o a dos metros de profundidad. A causa de ello, no forman siempre una llanura arrecifal típica. Estos arrecifes son característicos de la Provincia arrecifal del Caribe.

Los arrecifes **parches** son las formas enanas de los arrecifes en plataforma. Las construcciones tienen diámetros de sólo decenas de metros, y pueden desarrollar morfologías de microatolones.

En la construcción de los microatolones, se puede describir la siguiente secuencia de acontecimientos:

1. Se parte de un tronco coralino, que se desarrolla, en la vertical, hasta el nivel de la bajamar. Se han medido elevaciones, respecto al fondo circundante, de hasta unos tres metros.
2. Cuando el arrecife alcanza el nivel de la bajamar, sólo se extiende lateralmente.
3. El sector central superficial se encuentra, cada vez, más protegido del agua libre, por el crecimiento paulatino de los márgenes.
4. A consecuencia del crecimiento marginal, mueren los corales de la zona central superficial, que se ahonda por la bioerosión. Las algas calcáreas y otros crecimientos secundarios sólo pueden amortiguar los efectos de este proceso destructivo, pero no anularlo totalmente. Así se adquiere la planta anular, la de un atolón en miniatura, que representa, en realidad, a un arrecife parche aislado, tras el transcurso de decenios.

Una laguna arrecifal, de un atolón, puede encerrar a una infinidad de microatolones y de arrecifes parches en general

Tras rebasar la Gran Barrera Arrecifal, de la entrada oriental del Parque Nacional de Los Roques (Venezuela), que define a un atolón, y desde el aire, se pueden observar un gran profusión de microatolones, casi emergentes, en agrupaciones densas. En este entorno, los microatolones proporcionan un gran espectáculo paisajístico, dentro de un marco de "peculiares dibujos" y de una gran variedad de tonalidades cromáticas, que configuran "estampas" de fuerte "belleza" plástica.

Los **atolones**, como ya se ha indicado, son arrecifes anulares, o con plantas redondeadas, que delimitan a lagunas internas. Pero deben reunir la condición de que el sustrato rocoso de apoyo de los arrecifes se encuentre totalmente sumergido. En este sentido, Los Roques (Venezuela) es casi un atolón, ya que emerge, en el Gran Roque, el afloramiento plutónico, sobre el que se ha construido, y se construye, el complejo arrecifal. Con todo, se puede aceptar como atolón, y constituye un área de rareza, con todo el valor, o peso que ello implica, en relación con la conservación y mejora de un medio natural o de un medio ambiente. En efecto, dentro de una Geología o Geografía Regional, Los Roques determinan el único atolón del Océano Atlántico.

Las lagunas internas de los atolones:

- se comunican con el mar abierto, a través de canales o pasos, que se sitúan, preferentemente, a sotamar,
- y pueden desarrollar profundidades de 30 a 80 metros.

Parece que se da una cierta dependencia entre:

- profundidad de la laguna , y
- diámetro del atolón.

En los atolones, la corona de los arrecifes es más ancha por el lado de barlomar, en relación con el oleaje dominante. Por el otro lado, apenas alcanza a la superficie. Por eso, las islas asociadas a una corona de un arrecife en atolón, se suelen disponer, con mayor probabilidad, en el costado de barlomar.

Según Schuhmacher (1978), el atolón que encierra la mayor superficie es el Suvadiva, en Las Maldivas, en el Océano Índico. Se describe una planta con unos 70 kilómetros de longitud y con una anchura de unos 55 kilómetros. En el Pacífico Central, se encuentra el Atolón Rangiroa, con 80 kilómetros de diámetro. También, en el Pacífico Central, se localiza el Atolón Kwajalein, que presenta el mayor diámetro medido: unos 125 kilómetros.

A partir:

- de la “Teoría de la Subsistencia” de Darwin (1831 - 1836),
- de la “Teoría del Control Glacial” de Daly - Penck, recogidas por Schuhmacher (1978),
- y de las verificaciones por perforaciones en 1951, en los atolones de Bikini y Eniwetok (Océano Pacífico),

se pueden formular los siguientes episodios de hechos, en la formación de un atolón:

**1. Se desarrolla un arrecife costero, a lo largo de una costa insular.**

Los atolones no tienen por que tener, como soporte, a islas volcánicas. Podrían levantarse sobre bajos fondos someros, u otros afloramientos rocosos, a modo de islas, que resultasen, por ejemplo, de una erosión diferencial, condicionada por factores litológicos y/o estructurales, entre otros. Los bajos fondos, incluso, podrían haber sido unos relieves emergidos, en tiempos geológicos pasados, que posteriormente fueron invadidos por el mar.

Como verificación de estos soportes no volcánicos, conforme con Varela y Cárdenas (1984) y con Schubert y Moticska (1973), está, entre otros ejemplos, la Isla de La Blanquilla, en el Caribe venezolano, formada por rocas plutónicas descarnadas (por un batolito diorítico). La Isla soporta terrazas arrecifales coralinas, tres emergidas y otras sumergidas, a distintos niveles, como respuestas a los cambios del nivel del mar. En las terrazas emergidas, las tábulas superiores han soportado degradaciones erosivas diferenciales, que determinan auténticos “malpaisés” (terrenos muy dificultosos de caminar), de aristas cortantes, con formas caprichosas.

El Parque Nacional de Los Roques, también en Venezuela, ratifica, en cierta manera, este otro supuesto. Aquí se arrancaría de un afloramiento rocoso que, por su planta, hace recordar muy bien a la periferia de un cuerpo plutónico, como podría ser un batolito, por ejemplo, puesto en superficie topográfica por la erosión. Más recientemente, cuando ya formaba parte de un lecho marino somero, pasó a soportar el desarrollo de colonias coralinas, y dar lugar al relieve de su escenario geográfico. La anterior interpretación está muy de acorde con la cartografía geológica de Venezuela y de su mar territorial.

2. Por movimientos epirogénicos y/o eustáticos, se eleva lentamente el nivel del mar, y se retira, hacia tierra, la orilla. El arrecife costero se convierte en arrecife barrera, por crecimiento de los corales, que se mantienen en una misma posición, respecto al nivel del mar.
3. Por el progreso de la elevación del nivel del mar, el centro de la isla queda invadido por el agua. Se origina una laguna central, delimitada por los arrecifes.
4. Se llega al estadio de atolón cuando se sumerge la cúspide relíctica rocosa, de la isla inicial, que se localizaba en el centro de la laguna.
5. Y en la laguna central tienen lugar procesos de sedimentación. Se depositan restos de coral, de conchas y de otros materiales.

**6. Las formaciones arrecifales y la geología histórica**

A la hora de interpretar formaciones arrecifales organógenas antiguas, a partir de los patrones de comportamiento actuales, se debe tener presente:

- que los grupos de organismos constructores en el pasado no fueron los mismos que en la actualidad, y
- que los papeles de cada grupo cambia con el lugar y la época.

Los distintos papeles, que pueden jugar los organismos, se ilustra con el siguiente ejemplo:

- En algunas ocasiones, las algas calcáreas han actuado como aglutinantes de los esqueletos de los animales, que formaban el armazón arrecifal propiamente dicho.
- Mientras que en otras circunstancias eran las mismas algas quienes constituían el armazón principal.

Para muchos geólogos actuales, y conforme con el Modelo de la Tectónica Global, la creación de islas oceánicas, y sus posteriores subsidencias, cuando existían, o existen, se deben al paso de la litosfera sobre puntos calientes. Muchas de estas islas serán los soportes de arrecifes, cuando concurren en éstas las adecuadas condiciones de contorno. El “vagabundear” de las placas litosféricas explica que la distribución de los arrecifes coralinos antiguos sea mucho más dispersa, en latitud, que la de los actuales. En la realidad, la evolución de la distribución espacial, en el tiempo, fue uno de los muchos argumentos paleoclimáticos usados por Wegener, para apoyar su hipótesis de la Deriva Continental, precursora de la Tectónica Global.

Anguita y Moreno (1993) recogen que las sucesivas agrupaciones arrecifales han sufrido cuatro extinciones masivas. Pero siempre se han recuperado, por lo general, formando nuevas comunidades.

Según una Geología Histórica:

- Los primeros arrecifes eran sólo de algas. Estaban contruidos por algas de un grupo de cianofitas, o algas verdes - azules. Los arrecifes definieron biohermios cupuliformes, con sedimentos laminados, denominados **estromatolitos**.
- Los arrecifes coralinos aparecieron hace únicamente unos 480 millones de años. Los más significativos se cartografían desde el Terciario temprano (desde hace aproximadamente unos 60 millones de años).
- Aún en la actualidad, en la construcción de los arrecifes, por término medio, los corales sólo representan la décima parte de un arrecife. El resto del edificio es un árido que resulta, en parte, de la rotura del biohermio por los agentes erosivos de la Oceanología. El biostromo queda retenido por el esqueleto originario de los corales.

### 7. Los arrecifes de Venezuela

Los arrecifes situados ante la costa venezolana son mucho más pobres en especies que los del grupo de las Islas Antillanas. Ello se explica por el hecho de que el agua fría, del fondo, sube, periódicamente, a la superficie.

Pero por otra parte, la biodiversidad coralina, del Caribe, resulta muy modesta. Escasamente se describen unos 30 géneros, en comparación con las composiciones de los arrecifes indopacíficos. Estos últimos, en algunos lugares, pueden contener más de 60 géneros.

Las actuales formaciones arrecifales del Caribe no son mas que recolonizaciones de las líneas costeras, sobre antiguos arrecifes fósiles. La recolonización se hizo a partir de un número diezmado de especies, que sobrevivieron en unas pocas islas.

Las especies coralinas en el Caribe se diezmaron a causa de la retirada del mar, en la más inmediata glaciación, que reinó hace unos 15 000 años. Con esta glaciación, el nivel del mar sufrió un descenso de unos 120 metros, según estimaciones de campo (Schuhmacher, 1978).

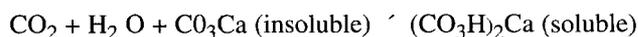
### 8. Las presiones ambientales en las formaciones arrecifales coralinas.

Las degradaciones de las formaciones arrecifales se pueden ocasionar:

- por presiones **ambientales antrópicas**, mediante un uso insostenible del territorio, y
- por presiones **ambientales naturales**.

Las presiones ambientales pueden modificar las condiciones de contorno, implicados en el desarrollo de los arrecifes calcáreos, de organismos vivos.

Un esquema de partida, extrapolable a cualquier medio con deposiciones químicas (precipitados) de carbonatos cálcicos, considera los efectos de los cambios en las presiones y en las temperaturas, en relación con la ecuación de equilibrio:



Un aumento de **presión** determina una disolución del carbonato cálcico. Ello se debe a que el primer miembro de la ecuación de equilibrio incluye a un gas, por lo que ocupa más volumen que el segundo. Y un

incremento de la presión tiende a que disminuya esta diferencia de volúmenes, con lo que se desplaza el equilibrio hacia la derecha.

En definitiva, los aumentos de presiones conllevarían a descalcificaciones de los arrecifes, cuyos armazones resultarían dañados. Soportarían una especie de “osteoporosis” (la enfermedad de la descalcificación en el hombre).

Pero si se trata de arrecifes coralinos, donde los corales viven en asociación simbiótica con un alga, la Zooxanthela, se dan situaciones especiales, tendentes a mantener la estabilidad del esqueleto calcáreo, antes cambios de presiones, que repercutan en los contenidos en  $\text{CO}_2$ . El alga actúa a modo de “tampón”, ya que tiende a fijar el  $\text{CO}_2$ , que se desplazaría a efectos de aumentos de las presiones.

La Zooxanthela se alimenta del nitrógeno de las excreciones del coral, al tiempo que le facilita el  $\text{CO}_2$ , y libera  $\text{O}_2$ , en la fotosíntesis. Por eso se dice que se da una simbiosis entre el coral y el alga.

Desde otro enfoque, el  $\text{CO}_2$  de la ecuación de equilibrio, como todo gas en el agua, tiende a ser inestable en solución. Un aumento de **temperatura** provocará la expulsión del gas hacia la atmósfera, y para restablecerse el equilibrio, ahora se desplazarían las reacciones hacia la izquierda (se favorecería la formación de carbonato cálcico), para reponer el gas que se escapa. El efecto sería el contrario a los de aumentos de las presiones.

De acuerdo con todo lo anterior, los efectos de **las actividades antrópicas**, que conlleven aumentos de presiones y de temperaturas, hasta ciertos límites, en principio no son degradantes en las formaciones arrecifales coralinas, sobre todo si está presente el alga Zooxanthela.

Una desaladora (una planta de potabilización del agua del mar), por ejemplo, en el entorno de un arrecife coralino, producirían aumentos de temperaturas y, en consecuencia, se potenciaría la formación de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . Ello favorecería la robusticidad del edificio. Pero ¿cuales serían los efectos de la salmuera, que vierte, durante el proceso industrial, la planta desaladora, en las comunidades vegetales de sus proximidades? ¿La salmuera se incorpora a un mar abierto, o en un recinto cerrado por el arrecife, sin renovaciones de agua?. Y en relación con el tipo de recinto donde se realizan los vertidos ¿los efectos en las comunidades vegetales serán puntuales o amplios, conforme con la escala espacial arrecifal?. Según una metodología constructivista, en un análisis de problemas ambientales, ahora cabría preguntarse ¿cómo repercutirían las alteraciones en las comunidades vegetales en el propio arrecife?. Esto conduciría:

- a la búsqueda de otros factores de perturbación, en los equilibrios ecológicos, y
- a una reformulación de unas interpretaciones y conclusiones provisionales.

La **metodología constructivista** se basa en unos replanteamientos sucesivos, desde una hipótesis inicial, a medida que se van incorporando nuevos elementos intervinientes. En este caso, la hipótesis inicial pretendería diseñar un patrón de un ecosistema, o sistema en general:

- en función de los elementos que rigen los equilibrios ecológicos,
- y ante perturbaciones de esos elementos, que provocarían reacciones en cadena.

Se estaría ante un proceso metodológico iterativo, de consecutivas retro-alimentaciones.

El Parque Nacional de Los Roques (Venezuela) encierra comunidades vegetales tales como:

- manglares, en las orillas, y
- praderas de thalassias, en los lechos marinos someros.

El escenario ha comenzado a padecer casi una **explotación turística intensiva**. Para la explotación del recurso, se han construidos instalaciones hosteleras (más bien, se han reconvertidos antiguas viviendas de pescadores en posadas). En la actualidad, la única isla habitada, de forma significativa, es el Gran Roque, con unos 1 500 habitantes. En este lugar, hay unas 65 posadas, con un promedio de tres habitaciones por establecimiento. En cada habitación, suele haber unas tres camas.

Como en el Gran Roque no hay agua dulce, se construyen desaladoras. El vertido de la salmuera se hace hacia el interior de la laguna, y podría ocasionar posibles problemas en las praderas de thalassias.

Los **vertidos de aguas servidas** (residuales domésticas y de las instalaciones hosteleras), ricos en nutrientes, favorecerían la eclosión de algas planctónicas, y con ello, se crearían pantallas respecto a la penetración de la luz. La caída de la iluminación conllevaría perturbaciones en los procesos de fotosíntesis:

- no sólo en las praderas de comunidades vegetales sub-acuáticas, que se destruirían,
- sino también, de forma directa, en las algas calcáreas, simbióticas de los corales arrecifales, que se verían perjudicados en sus desarrollos.

La explotación turística de Los Roques (Venezuela) produce, indudablemente, aguas residuales. Las aguas negras se recogen en pozos sépticos, que obviamente se filtran hacia el mar, y hacen que aumenten el contenido de nutrientes. ¿Se ha estimado la carga de vertidos que puede soportar el medio, sin que aparezca problemas ambientales? ¿Se han evaluado sus efectos tanto sobre las praderas de thalassias como en los propios arrecifes? ¿Cuál sería el coeficiente de importancia de esta perturbación? ¿A qué área afectaría? ¿Durante qué tiempo? ¿Cuál sería el grado de probabilidad de que aconteciesen los diagnósticos?.

La destrucción de praderas de thalassias facilitarían las resuspensiones de áridos, por las energías de los oleajes, o la pérdida de la capacidad de retención de sedimentos, que llegasen desde las desembocaduras de quebradas y/o ríos. Si estos procesos tienen lugar en entornos próximos a los arrecifes de organismos vivos, las corrientes de deriva y/o de mareas podrían crear turbidez en el entorno de desarrollo de los corales. Se estaría modificando negativamente unos de los condicionantes de contornos de estos ambientes.

Considérese el caso real de los arrecifes, con sus cayos, del Parque Nacional de Morrocoy (Venezuela). En ese entorno, se encuentra, a muy poca distancia, el Golfete de Cuare, donde las actividades del hombre han destruido, en parte, las praderas de thalassias, o ha creado las condiciones para ello. Se podría deducir que se están creando los contornos apropiados para que las turbideces sedimentarias, ligadas a las destrucciones de las praderas, llegaran a los arrecifes coralinos, con todos sus efectos negativos. Pero en este caso, las repercusiones prácticamente son insignificantes. Las corrientes de transportes más significativas serían las de mareas. Pero estas no toman aquí relevancia, ya que se está en un área geográfica de micromareas. Sus capacidades de transporte sedimentario se encuentran bastante limitadas.

En los relieves arrecifales de organismos vivos, el **paisaje** suele tener una alta cualificación. En las estimaciones de las calidades intervienen, decisivamente, entre otros componentes:

- La rica diversidad topográfica, a niveles casi rasantes.
- La espectacularidad de las micro - formas geométricas, en el ambiente sub-acuático.
- Las calientes policromías, que proporcionan los depósitos de arenas blanquecinas, la vegetación sub-aérea, con sus diversas tonalidades de verdes, las aguas cristalinas, en distintas tonalidades contrastadas azuladas - verdosas, según las ubicaciones y desarrollos de bajos fondos arrecifales, los cielos limpios, y las manchas blancas de ocasionales y caprichosas nubes. Las coloraciones verdes esmeraldas y verdes turquesas toman fuerzas extraordinarias.
- La magnificencia del colorido de sus habitantes sub-acuáticos.
- Y los contenidos biológicos, en cuanto a biodiversidad, rareza y elementos plásticos.

Pero estos paisajes son muy frágiles. Pequeñas infra-estructuras urbanísticas podrían producir fuertes impactos, que devaluarían a los arrecifes como recurso turístico - recreacional. Hay que ser muy precavidos a la hora de construir edificaciones. En este sentido, se ha llevado un manejo adecuado en el Parque de Morrocoy. Se destruyeron las edificaciones, muchas de ellas palafitos, que dañaban el paisaje de los cayos. Sólo se mantienen, en algunos de ellos, restringidos módulos de servicios.

Las consideraciones paisajísticas obligan a:

- Retomar los criterios sobre la gestión de estos territorios, dentro de un marco de conservación y mejora del medio ambiente, en compatibilidad con usos de desarrollo, que necesariamente deberían ser sustentables.
- Y reconstruir el modelo de usufructo de estos escenarios, desde visiones globalizadoras, o generalistas.

En general, los gestores del territorio, con fines turísticos (para obtener divisas) y recreacionales, actúan sobre los arrecifes coralinos de formas muy diferentes. Por ejemplo:

- Mientras que en algunos lugares se destruyen parte de las formaciones arrecifales, para posibilitar la creación de playas artificiales, pequeños aeropuertos, instalaciones hosteleras, y otras infra-estructuras.
- En otros, se protegen, con severas medidas.

Aquellos arrecifes, bajo los cuales se sospecha la presencia de yacimientos petrolíferos, porque están cons-truidos sobre otros antiguos, susceptibles de haber constituido trampas de petróleo, adquieren una nueva dimen-sión, en lo que afecta a su significado económico y estratégico. En los supuestos de llevarse a cabo las explota-ciones petrolíferas, o de cualquier otro **recurso minero**, los impactos ambientales son de una envergadura mucho mayor que en el caso de las explotaciones turísticas - recreacionales.

En las áreas petrolíferas, existe el peligro de que los bancos arrecifales sean “alquitranados” por espesas capas de aceite pesado, producto de las extracciones de petróleo. Schuhmacher (1978) señala este peligro en algunas zonas del Océano Índico Occidental.

Por otra parte, algunos atolones han sido **escenarios de pruebas nucleares**. Los atolones seleccionados se ubi-caron en el Pacífico Central.

En general, los atolones, escenarios de pruebas, soportaron y soportan importantes investigaciones en Oceanología, Geología y Biología., antes y después de los ensayos nucleares. Pero los resultados, en una buena parte, aún no han sido publicados. Se podría pensar que estos estudios enriquecieron el conocimiento sobre el ori-gen de los atolones y sobre la estructura y la zonación de los mismos. Pero resultaría muy arriesgado generalizar las conclusiones obtenidas, conforme con una muestra geográfica estadísticamente pequeña, a la totalidad de los ambientes arrecifales.

Los estudios de fauna, en relación con las investigaciones sobre corales y arrecifes, en estas islas solitarias del medio del Pacífico, se deben, en gran parte, a la Estación Biológica Marina, fundada en Eniwetok, después de que hubieran concluido las pruebas con armas nucleares.

Se afectaron directamente los siguientes escenarios:

- Atolón Mururoa. Soportó las pruebas francesas, con bombas atómicas, desde 1966. En 1996, los franceses aún seguían con sus pruebas.
- Atolón Bikini (en las Islas Marshall). En 1946, se realizaron aquí una serie de pruebas americanas, con bombas atómicas.
- Atolón Eniwetok (próximo al anterior). En este lugar, en 1952, se lanzó la primera bomba de hidró-geno. Durante el periodo de máxima actividad, se destruyó completamente una de las 30 islas de Eniwetok, y se aniquiló, casi por completo, la vegetación. Según Schuhmacher (1978), doce años de bombardeo nuclear, tanto superficial como submarino, no lograron exterminar a los corales. Desde 1958, al finalizar las pruebas, las islas coralinas pudieron recuperarse aparentemente, y se observa que, de nuevo, son cobijo de sus primitivos moradores.

Si se analizaran otros muchos casos de intervenciones antrópicas, en los escenarios arrecifales, o en sus pro-ximidades, se llegaría a la conclusión de que el stress, que provocan los impactos del hombre, es muy peligroso, ya que los efectos de la polución tienden a incrementarse en el tiempo.

La polución estaría ligada a las descargas:

- de las industrias,
- de las actividades mineras,
- de los riegos agrícolas,
- y de las aguas negras urbanas,

en el mar próximo. Habría de esperar, y ocurren, efectos tóxicos y de eutroficación sobre la vida de los arre-cifes.

Las **presiones ambientales naturales**, sobre los arrecifes coralinos, están producidas, sin descartar otros factores:

1. Por los animales devoradores:

- caracoles,
- estrellas de mar, y
- determinadas especies de peces.

2. Por organismos perforadores, que producen la desintegración de las estructuras calcáreas.

Las perforaciones se pueden hacer química y mecánicamente. Aquí se encuentra el papel que desarrollan las esponjas, los moluscos, algunos peces y algunas algas, y otros organismos.

3. Por los crecimientos demasiados intensos de las algas, que pueden amenazar, o incluso aniquilar, a un coral.

4. Por la competición por el espacio, entre diversos organismos.

En el biotopo, que define un arrecife, se establece una auténtica competitividad, entre las distintas especies constructoras. En la lucha entre especies, los pólipos coralinos pueden usar los filamentos mesentéricos, que se emplean en la digestión extragástrica, para atacar a los corales vecinos. Los competidores demasiados próximos son sencillamente digeridos. Como los enzimas digestivos tienen efectos diferentes, en distintas especies, se imprime un verdadero orden, o jerarquización, en la edificación de un arrecife.

5. Y por causas físicas.

Conforme con Sorokin (1995), el stress físico lo determina, entre otros, los siguientes factores:

- oleajes energéticos,
- decrecimientos de la salinidad, por intensas lluvias, por ejemplo,
- descensos de temperatura,
- recalentamientos, durante las fuertes bajadas de las mareas,
- e incrementos de la turbidez.

La mayor parte de los eventos catastróficos, en la degradación de los arrecifes, por las presiones físicas naturales inventariadas, se relacionan con el paso de ciclones (huracanes) tropicales.

Los huracanes pueden determinar que los arrecifes cambien de configuraciones, y que aparezcan, en ellos, nuevos cayos e islas.

Una vez que ha dejado el huracán sus huellas destructivas, la velocidad de recuperación de un arrecife está condicionada por la presencia, o no, y en qué cuantía, de una polución antrópica. A mayor polución, menor velocidad de recuperación.

### 9. La cooperación internacional en la conservación y recuperación de formaciones arrecifales significativas

Cuando algunos arrecifes tengan un especial significado:

- por una excepcional riqueza en biodiversidad,
- por constituir "paisajes" terrestres y submarinos muy singulares,
- y/o por representar componentes de rareza, a escala de una Geografía Regional,

éstos constituyen "Patrimonios de la Humanidad".

Y cuando los especiales significados están amenazados:

- por serios riesgos de extinción de especies,
- y/o por la degradación, que se deriva de usufructos intensivos, no sometidos a rigurosas planificaciones y manejos, y en consecuencia, sin contemplar una política de sustentabilidad de los recursos, que brinda la Naturaleza,

se justifica, bajo esta concepción de “Patrimonio de la Humanidad”, la cooperación internacional:

- para el mantenimiento y conservación de estos entornos,
- y/o para la mejora de los mismos, con puesta en práctica de proyectos de mitigación de impactos degradantes.

El Parque Nacional de Los Roques, en Venezuela, reúnen las características para que se pueda considerarse un escenario de especiales significados, incluida su componente de rareza, como atolón, a nivel no sólo del Caribe, sino de todo el Océano Atlántico.

Pero, para solicitar una ayuda internacional, ¿debe darse una actitud ética previa, durante y después por parte de los administradores?. Si un territorio recibe los beneficios de una declaración de “Patrimonio de la Humanidad”, que conllevaría la participación de todos los ciudadanos, de las naciones solidarias, mediante el destino de una parte, aunque sea mínima, de sus impuestos, lo primero que se debe adoptar es el rechazo a todo tipo de discriminación, a no diferenciar entre nacionales y extranjeros. Una forma de discriminación consistiría en establecer impuestos a los extranjeros por el usufructo, aunque estos gravámenes vengan disfrazados en descuentos a los nacionales. Una forma simplista de cobrar los gravámenes extras se suele hacer:

- con las tarifas de transportes,
- con las tasas aeroportuarias, comparativa y relativamente altas, y
- con los impuestos directos, por organismos oficiales.

Desde esta perspectiva de “Patrimonio de la Humanidad”, no resulta válido el razonamiento de que “paguen más los que poseen más alto poder adquisitivo”

Por añadidura, como un corolario de una política de discriminación en usufructos, se revalorizan otros destinos “turísticos” alternativos, que los hay, y también “muy bellos”.

## C A P Í T U L O 13

### *Los relieves kársticos*

#### E S Q U E M A :

1. Delimitación de conceptos y descripciones generales.
2. Condiciones de contorno.
3. Los escenarios kársticos como talleres de cultura etnográfica.
4. Los paisajes kársticos emblemáticos de superficie y los paisajes kársticos “underground”.
5. El avance de una karstificación a corto plazo y las actividades del hombre.

#### 1. Delimitación de conceptos y descripciones generales

Se entiende por relieve kárstico todo terreno caracterizado por procesos de disolución, sobre materiales preferentemente calizos, yesíferos o salinos en general.

La ausencia de circulación de aguas de superficie, aunque el clima sea lo suficientemente húmedo como para que pueda establecerse una red fluvial permanente, define la característica fundamental de los relieves kársticos, sobre todo en las formaciones de calizas. En estos escenarios, se da un predominio de los procesos de infiltración, en detrimento de la escorrentía superficial. Esto está en coherencia con posibles observaciones puntuales de ríos, que desaparecen para continuar como cauces subterráneos.

Las calizas, frente a su capacidad para disolverse, ante unas determinadas condiciones de contorno, posee una gran consistencia. La consistencia rocosa constituye la causa principal para que se puedan describir, en los entornos kársticos:

- pendientes verticales e, incluso, contra - pendientes,
- grandes bóvedas,
- y conductos subterráneos, de dimensiones llamativas.

Y todos estos elementos arquitectónicos permiten obtener relieves muy agrestes, que dan peculiaridad al paisaje.

Dentro de una amplia panorámica, los efectos de los procesos kársticos se podrían sistematizar como sigue:

##### *a). Formas superficiales (exokárticas y de emisión).*

Estas comprenden:

- grandes formas cerradas, abiertas y en relación con cauces fluviales, y
- formas menores.

Entre las grandes formas cerradas destacan:

- las torcas o dolinas,
- las uvalas,
- los poljès y
- los valles ciegos.

Las grandes formas abiertas están constituidas, básicamente, por:

- simas o avenc,
- sumideros o ponors,

- estavellas y
- surgencias.

Las formas relacionadas con cauces fluviales son principalmente dos:

- algunos cañones y
- algunas hoces.

Se entiende por formas menores, en superficies topográficas, las que, para su descripción, se precisan sólo campos de visión a escalas reducidas. Quizás la forma menor más significativa, a consecuencia de los procesos kársticos, sea el lenar, lapiaz o karrenfelder, y diversas formas caprichosas. Además, se podrían incluir algunos montículos (hums) localizables en los poljès. También entrarían, como formas menores, las que se originan en las salidas de aguas kársticas a la superficie (formas de emisión):

### **b). Formas subterráneas (o endokársticas).**

También se pueden diferenciar en:

- grandes formas, y
- formas menores.

Las formas subterráneas de identidad son los conductos funcionales y disfuncionales, en relación con aguas subterráneas encauzadas. Las primeras se pueden subdividir, según su génesis, en conductos de carga y en conductos de gravedad. Los conductos de gravedad pueden llevar asociados, como formas menores, estalactitas. Las formas disfuncionales pueden presentar, junto a estalactitas, estalagmitas.

### **c). Formas de origen mixto.**

Las formas de este grupo, más representativas, son determinados cañones, cuando se corresponden a grandes conductos subterráneos que presentan desplomes generalizados del techo. Obviamente, los techos formaban parte de la superficie topográfica

### **d). Escenarios geográficos definidos por la convergencia de procesos y efectos superficiales y subterráneos.**

Estos escenarios encierran un rico muestrario de formas menores, entre las que caben destacar lapiaces, formas caprichosas, estalactitas, estalagmitas, etc..

Los términos empleados, ordenados alfabéticamente, se definen de la siguiente manera:

#### **Cañones:**

Son valles de flancos verticales, normalmente angostos, entre dos plataformas calcáreas. Generalmente presentan trazado rectilíneo.

#### **Conductos de carga:**

Corresponden a una circulación del agua a presión. La presión se distribuye por igual en la superficie envolvente, por unidad de sección. Esto implica que la sección adopte necesariamente una forma circular.

#### **Conductos de gravedad.**

Se definen como formas que se caracterizan por presentar secciones periformes, con la parte más aguda hacia arriba. Las morfologías traducen cavidades no repletas de agua circulante. El peso del agua será la causa del ensanchamiento de la base de los conductos.

Las galerías pueden tener dos orígenes:

- A partir de circulaciones de agua que, desde sus inicios, nunca ocuparon la totalidad de las secciones de las mismas.

- O por disminuciones de volúmenes de agua a desalojar, a través de primitivos conductos de carga. De esta forma, descienden los niveles de agua en las galerías, que ya no llegan a completar la sección.

### **Dolinas (o torcas):**

Consisten en depresiones de forma ovalada o cuasicircular, con contornos sinuosos, pero no angulosos. Las dimensiones son muy variables, desde diámetros decamétricos, hasta de algunos kilómetros. Las profundidades varían desde algunos metros hasta pocos centenares de metros.

Con muchas interrogaciones, el origen de las dolinas parece que está condicionado por la existencia de un punto de absorción, que permite evacuar, en profundidad, el agua de lluvia que quedase atrapada en una depresión cerrada.

Las dolinas se puede clasificar, morfológicamente, en tres tipos límites:

- en cubeta,
- en embudo y
- en pozo.

La morfología va a estar controlada por criterios estructurales (disposición de estratos, intersección de fracturas, y otros elementos).

Genéticamente, se pueden clasificar:

- en dolinas de colapso,
- en dolinas de disolución, y
- en dolinas de subsidencia.

Éstas últimas se relacionan con un karst subyacente, con una cobertera superficial no kárstica, que se hunde.

Según criterios de funcionalidad, las dolinas se clasifican en:

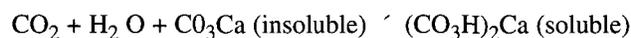
- sumideros activos de agua, o
- paleosumideros disfuncionales.

La disfuncionalidad de los paleosumideros se debería a la impermeabilización del fondo por la deposición de arcillas de descalcificación (residuo de las calizas disueltas), que frecuentemente son de tonalidades rojizas.

### **Estalactitas:**

Son agregaciones en la vertical, a modo de carámbanos o agujas colgadas desde un techo, formadas por sucesiva precipitación del calcio carbonato, procedente del contenido en carbonato ácido de las aguas de infiltración.

Para que forme una estalactita el agua de goteo responsable, obviamente tiene que estar sobrecargada de carbonato ácido. En caso contrario, en lugar de producirse una precipitación, aparecería una disolución. Pero además, juega un papel importante la temperatura del ambiente, que podría estar en dependencia con procesos de aireación. Aumentos de temperatura implicarían una menor capacidad de disolución de CO<sub>2</sub>. En esas circunstancias la ecuación de equilibrio:



se desplaza hacia la izquierda, en el sentido de la precipitación del carbonato. Esto explica el hecho de que puedan existir cuevas, en relieves kársticos, con ausencia de estalactitas, que traducirían una determinadas condiciones que no favorecen el desplazamiento de la anterior ecuación hacia la izquierda.

### **Estalagmitas:**

Son formas menores originadas por el mismo proceso que la estalactita, pero desde el suelo hacia arriba, y por superposiciones de depósitos calcáreos, a modo de pedestales caprichosos. El agua, con el soluto, procedería de un goteo desde el techo (normalmente desde una estalactita). Pero si en el proceso de formación de la estalactita se

podrían haber agotado la “disponibilidad” de carbonato ácido, no se formarían estalagmitas. El agotamiento de las disponibilidades estarán en función de las condiciones ambientales, que reinaban durante el proceso de la formación de la estalactita.

Conforme con las dos últimas definiciones, podrían haber grutas kársticas:

- sin estalactitas ni estalagmitas,
- sólo con estalactitas,
- o con estalactitas y estalagmitas.

Cuando coexisten ambas formas menores, se pueden observar casos en que se unen, para originar columnas.

### **Estavellas:**

Se describen como conductos freáticos, que unas veces funcionan como sumideros y otras como surgencias, en función de la altura que alcanza el agua subterránea.

### **Formas caprichosas:**

Corresponden a formas “puntuales” del relieve, como resultado de procesos kársticos, normalmente en calizas, con respuestas heterogéneas, debidas:

- a diferentes quimismos,
- a la presencia de ciertos controles texturales - estructurales, o
- a la existencia de otras circunstancias, como pudiera ser la proximidad de una fuente de humedad (por ejemplo, un suelo).

Describen formas caprichosas los árboles de piedra, determinados arcos, los relieves zoomórficos, etc..

Un “árbol de piedra” traduce una disolución mayor en la base que en la cima, inducida por la humedad del suelo.

### **Hoces:**

Son peculiares cañones de trazado curvo.

### **Hums:**

Identifican a formas relícticas, no disueltas, a modo de pináculos, o mogotes rocosos aislados, en un escenario kárstico.

### **Lenares (karrenfelder o lapiaces):**

Definen a disoluciones lineares en superficies calcáreas. Las disoluciones se desarrollan a favor de líneas de debilidad, que podrían estar relacionadas, por ejemplo, con diaclasas o superficies de estratificación. En los puntos de cruce de diaclasas, se pueden desarrollar dolinas.

En los procesos de disolución, podrían intervenir los ácidos húmicos del suelo, o el ataque del agua de arroyada, según que la superficie calcárea se encuentre, o no, recubierta por un suelo rico en humus.

Las formas que adquiere el lenar son variadas. Así se describen lenares con acanaladuras (donde los surcos alcanzan un máximo de un centímetro de anchura y profundidades centimétricas), lenares con regueros (más profundos que los anteriores), lenares con aristas (separando, o no, los regueros), lenares con nidos de abeja, lenares con agujas, etc..

### **Poljès:**

Hacen referencia a grandes áreas llanas y alargadas, deprimidas en relación con el resto del macizo rocoso, que se han originado por procesos kársticos.

Las anchuras oscilan entre centenares de metros hasta varios kilómetros, y las longitudes van desde algunos kilómetros hasta decenas de kilómetros.

El fondo plano suele corresponder:

- a un estrato impermeable, o
- a un antiguo nivel freático.

Pueden tener un tapizado de arcillas procedentes de procesos de descalcificación o de aportes desde los flancos, que toman coloraciones pardas, amarillas o rojizas, según el grado de oxidación. A veces, pueden dejar al descubierto un topografía de lapiaz, de dolinas y/o de mogotes rocosos (**hums**).

#### **Ponors (o sumideros):**

Representan a zonas por donde se evacua, de forma subterránea, el agua de un poljè.

El poner es funcional, en el sentido de sumidero, cuando el manto freático está particularmente bajo.

Si el manto freático sube, el ponors puede dejar de actuar como sumidero y comportarse como una surgencia ascendente.

#### **Simas (o avenc):**

Corresponden a conductos verticales, que nacen en la superficie de una planicie. Se forman a partir de una fisura, que se va ensanchando por la disolución, y que puede estar asociadas a despegues y desprendimientos verticales. En el proceso de propagación de la disolución hacia el interior, se pueden alcanzar otras fisuras. En tales circunstancias las simas adquieren proporciones notables.

#### **Surgencias:**

Traducen a salidas del agua al exterior, cuando la superficie topográfica corta bien a la superficie freática o a un cauce subterráneo.

Los conductos kársticos subterráneos, ligados a surgencias, pueden tener, en ocasiones, conexiones con otros, cuyas salidas se localicen a cotas superiores y que permanezcan, habitualmente, secos. Cuando el conducto principal, por su dimensiones, es incapaz dar salida al volumen de agua que le llega, los secundarios se cargan y se convierten en surgencias adicionales, que participan en la evacuación total del agua. Este funcionamiento general de denomina como una surgencia *trop-pleins*.

La surgencia se denomina *vaclusiana* cuando está controlada por un conducto vertical, bajo una lámina de agua. En la superficie del cuerpo de agua, se identifica por la observación de gran cantidad de burbujas.

#### **Uvalas:**

Consisten en depresiones de contornos sinuosos, como resultado de la unión de varias dolinas.

#### **Valles ciegos (o secos):**

Son formas exokársticas, que definen a valles de paredes verticales, o casi verticales, que se prolongan hasta las cabeceras de los mismos.

En las cabeceras de estos valles, se localizan surgencias de aguas subterráneas, que alimentan a caudales superficiales.

Los caudales superficiales se mantienen porque los lechos se encuentran cubiertos de un material arcilloso.

## **2. Condiciones de contorno**

La regulación de los procesos kársticos, con el desarrollo de sus relieves, tanto superficiales como subterráneos, se establece conforme con una serie de condicionantes:

- **Condicionantes litológicos, en cuanto a la naturaleza de los mismos.** Resulta fundamental la presencia de materiales calcáreos (calizas, o sus equivalentes metamorfozadas), o de otras naturalezas, pero susceptibles de comportarse como solutos.

En un escenario geográfico en concreto, con todos sus condicionantes inherentes, los materiales que pueden cubrir las rocas solubles condicionarán significativamente los procesos de karstificación.

- **Condicionantes litológicos en cuanto a sus rasgos estructurales.** El grado y tipo de fracturación, las dimensiones de las fracturas, la disposición de los estratos, la potencia de los mismos y otros aspectos intervienen en la velocidad de los procesos kársticos.
- **Condicionantes en dependencia con acuíferos.**

La presencia de niveles impermeables y/o de zonas no fisuradas condicionan, en mucho, los niveles locales de base de acuíferos. Estos niveles configuran las pautas de la circulación de las aguas subterráneas, y de los acuíferos considerados globalmente. Y tales pautas desempeñan papeles decisivos en los procesos y efectos kársticos.

Los acontecimientos kársticos serán diferentes, según en que zona, respecto a un acuífero, tengan lugar. Así, en la zona de circulación vertical, las disoluciones están restringidas y se pueden formar estalactitas y estalagmitas, dentro de un proceso general travertínico (de precipitación de carbonato cálcico, por evaporación, de unas aguas saturadas en bicarbonato cálcico). Mientras que en una zona de saturación de agua, los procesos de disolución son muy activos, y se pueden desarrollar grandes cavidades.

- **Condicionantes químicos.** Estos procesos están en dependencia con la presencia de CO<sub>2</sub>, respecto a las rocas carbonatadas, con la existencia de agua, como disolvente, y con la geoquímica de la roca que se ataca.

En materiales calcáreos, y conforme con la ecuación de equilibrio:



el proceso de disolución se encuentra favorecido con incrementos de CO<sub>2</sub> en el agua. Por eso, las aguas de infiltración, a través de un suelo con vegetación, enriquecidas en CO<sub>2</sub>, actúan más agresivamente

Por otra parte, en rocas calcáreas, la presencia de determinados iones, como el Mg<sup>2+</sup>, dificulta, o desacelera, el proceso de karstificación

- **Condicionantes físicos.** Aquí entrarían, principalmente, las temperaturas ambientales, que condicionan las reacciones químicas, y las presiones relativas.

Los aumentos de temperatura, en el agua, favorecen a la reacción de disolución. Pero, por otro lado, hacen que disminuya la cantidad de CO<sub>2</sub>, disuelto en el agua (se vuelve más rápida la difusión y la liberación del gas), por lo que la reacción, desde este otro aspecto, tendería a desplazarse en sentido contrario a la disolución de la roca (hacia la izquierda).

En cambio, el agua fría disuelve mejor el gas carbónico que el agua caliente, y la ecuación de equilibrio se desplazaría hacia la derecha.

Los aumentos de presiones favorecen a la disolución del CO<sub>2</sub> en el agua y, con ello, la disolución de la roca calcárea. Esto explica que las oquedades y grietas, sumergidas bajo un nivel freático, en una formación de calizas, donde la presión hidrostática puede llegar a varias atmósferas, sean zonas donde más se acentúan la disolución, en comparación con las zonas fisuradas, próximas a la superficie. Las oquedades y grietas del acuífero serán cada vez más amplias.

Normalmente, hay un incremento de una atmósfera por cada 10 metros de profundidad, bajo el nivel freático.

- **Condicionantes en función de la vegetación y de las características edáficas.**

En principio, se puede enunciar que una espesa cobertera, de baja permeabilidad, de vegetales, y/o de materiales edáficos, dificulta la karstificación, por la retención del agua de infiltración disolvente). En cambio, una ausencia de vegetación densa, y/o una cobertera edáfica delgada, sobre todo si es ácida (aluvial silicio o suelo ácido), aceleran, o acelera, la karstificación.

El tipo y el grado de desarrollo de coberteras, sobre los relieves kársticos, están en estrecha dependencia con la Climatología.

Para el caso particular de los bosques ecuatoriales, la existencia de un suelo ácido, rico en humus o en sílice, acentúa la acidez del agua y, consecuentemente, su poder disolutivo.

- **Y condicionantes climáticos.** Las caracterizaciones de la humedad ambiental y de las precipitaciones, (lluvia o nieve), en su área geográfica, o en sus proximidades, juegan un papel decisivo, ya que ellas depende el suministro de disolvente.

En las extensas regiones calizas, los regímenes de moderadas precipitaciones condicionan evoluciones lentas de las formas kársticas. En estos escenarios, predominan las dolinas de colapso sobre las de disolución. Aquí se situaría la karstificación en la Península Ibérica.

Donde acontecen abundantes precipitaciones, en los climas intertropicales, se producen elevadas tasas de disolución y una rápida evolución del karst. Bajo tales circunstancias, el relieve soporta abundantes y grandes pináculos, a modo de torres, con agudas y espectaculares aristas.

Pero además, la evolución kárstica varía, significativamente, según la temperatura del agua disolvente, que en buena medida está regida por la Climatología ambiental.

En resumen, la propia existencia, la velocidad y los resultados de unos procesos de karstificación, ante una igualdad de características litológicas de partida, vienen determinados por las interacciones de un número, relativamente grande, de variables.

### 3. Los escenarios kársticos como talleres de cultura etnográfica

Las grutas y galerías, labradas por procesos kársticos, contienen, en muchas ocasiones, elementos etnográficos. A modo de ejemplos se pueden citar:

- los petroglifos de la Cueva del Indio, en el Cerro Chichiriviche, en su vertiente hacia el Golfo de Cuare (Parque Nacional de Morrocoy, Venezuela),
- y las pinturas rupestres de la Cueva de Altamira, en Santillana del Mar (Cantabria, España).

En Altamira, se encuentra una representación muy significativa del arte parietal del Paleolítico Superior, de las tribus aquitano - cantábricas del Magdaleniense, en "Calizas de Montaña" del Cretáceo. En realidad, la Cueva fue habitada desde el Solutrense Superior hasta el final del Magdaleniense, en que quedó sellada por derrumbamientos.

El Paleolítico Superior se corresponde con la mitad más moderna de la glaciación Würm. El Solutrense se sitúa casi al final de este periodo frío, y el Magdaleniense coincide con su caída terminal.

En la gruta, las pinturas más importantes están en la gran sala. Hay un fresco, en la bóveda, de catorce metros de longitud, donde corren:

- bisontes negros,
- un caballo rojo,
- jabalíes, y
- ciervos.

Las pinturas se funden con las formas de las rocas, para proporcionar más realismo.

las riquezas, que signifiquen “Patrimonios de la Humanidad”, como son las pinturas de Altamira, y otras, hay que usufructuarlas, al objeto de incrementar y/o encontrar nuestro bagaje cultural, y las raíces de nuestra conciencia histórica. Y la mejor manera de usufructuarlas es visitándolas “activamente”.

Pero puede suceder que las visitas masivas, de un turismo “intensivo” cultural, pongan en peligro la propia existencia de los recursos a “explotar”. Se estaría ante unas actividades de explotación que se tendrían que regular. En caso contrario, se llegaría:

- a una pérdida en la “diversidad cultural” de los pueblos, en su conjunto,
- y a un desarrollo insostenible, dado que se hipotecaría, para otras generaciones, una herencia etnográfica, de la que, éticamente, no es “propietaria” ninguna administración, o pueblo actual.

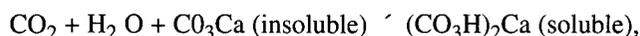
En el caso concreto de la Cueva de Altamira, a causa de las actividades fisiológicas del hombre:

- las grandes concentraciones de visitantes, o
- dosis más reducidas, pero muy prolongadas en el tiempo,

podrían conllevar:

- a incrementos importantes de  $\text{CO}_2$ ,
- a aumentos significativos de la humedad, y
- a ascensos de la temperatura.

Y en un medio de calizas, de acuerdo con la ecuación:



los aumentos de los contenidos en  $\text{CO}_2$  y la creación de un disolvente (la humedad), con una variable que favorezca las reacciones químicas (la temperatura), se desplaza el equilibrio hacia la derecha, hacia la formación de bicarbonato cálcico soluble.

Si se destruye el soporte de las pinturas, estas se destruirán asimismo, con las consecuentes pérdidas en el Patrimonio de la Humanidad.

De aquí que se califique como acertada la restricción de entradas a Altamira, a no ser que determinadas instalaciones técnicas anulen los efectos perjudiciales, que provoca la presencia del hombre.

En el supuesto de mantenerse las restricciones en las visitas, el usufructo se conseguiría:

- con adecuadas réplicas, en instalaciones anexas a la Cueva, y/o
- con reproducciones en libros, revistas, diapositivas, videos o en otros medios de difusión visual.

#### 4. Los paisajes kársticos emblemáticos de superficie y los paisajes kársticos “underground”

El labrado kárstico puede producir dos tipos de paisajes:

- paisajes superficiales, y
- paisajes “underground”.

Independientemente a que tipo pertenezcan, los paisajes kársticos sirven:

- como lugares de esparcimiento de los propios del lugar y de otras procedencias, y
- como recurso turístico.

##### a). Paisajes superficiales.

Los paisajes superficiales son aquellos que se usufructúan al aire libre:

- desde puntos singulares de observación, o
- desde recorridos usuales.

En estos paisajes, la arquitectura está definida, básicamente:

- por la diversidad topográfica,
- por el “capricho de las formas”, que determinan elementos de rareza,
- por las espectacularidades de determinadas topografías, y
- por los contrastes cromáticos, en parte a causa de la presencia de arcillas relícticas y de óxidos de hierro.

Los relieves kársticos calcáreos, de aspecto “ruinoso”, del Cerro del Hierro, en Constantina (Sevilla, España), ilustran muy bien la participación de las arcillas relícticas, tras la disolución de la caliza, y de los óxidos de hierro, en la composición cromática del paisaje.

La “Ciudad Encantada” de Cuenca (España) es uno de los escenarios que permite diseñar recorridos muy ricos en formas caprichosas, a veces, con cierto grado de espectacularidad.

El entorno se encuentra en calizas del Cretáceo, en una meseta a 1 417 metros de altitud. Dista unos 26 kilómetros, hacia el Norte, de la Ciudad de Cuenca, por la carretera de Valdecabras. Y abarca una superficie de unos 20 kilómetros cuadrados.

Los procesos:

- de disolución, por aguas superficiales y subterráneas,
- de erosión, por aguas superficiales,
- de disgregación mecánica, por bruscos cambios térmicos,
- de desplomes, y
- de la bioerosión,

han sido los cinceles de una singular topografía, que encierra a un verdadero “caos de rocas”, dando lugar a un fantástico entramado de:

- puentes,
- plazas,
- calles, y
- callejuelas,

con “espectaculares restos de palacios fantásticos” y con “quiméricas figuras”.

Para la apreciación del paisaje de la “Ciudad Encantada”, se han adecuado, con las debidas indicaciones, recorridos alternativos. En uno de ellos, de unos tres kilómetros de longitud, sucesivamente se observan las siguientes formas caprichosas, dentro de un lenar:

- El Tormo Alto, o El Árbol de Piedra,
- La Escuadra de Barcos, que describe a las quillas de tres inmensos navíos,
- La Puerta de una Muralla,
- El Perro, que hace pensar en la escultura de un gigantesco “foxterrier”,
- El Laberinto de Piedras,
- La Cara del hombre, con unas proporciones perfectamente regulares,
- El Puente Romano,
- La Foca, que hace equilibrio con un grandioso balón, y un gigantesco Cocodrilo, con la boca abierta, al final de una “amplia calle”,
- un estrecho “callejón”, de grandes paredes,
- El Tobogán, definido por rápidos y vertiginosos desniveles,
- El Mar de Piedra, en una superficie de erosión pluvial, que recuerda a un manto marino de espuma de oleaje,
- La Lucha entre el Cocodrilo y el Elefante, como un grupo escultórico colosal,
- El Hipopótamo y El Diplodocus,
- La Puerta del Convento, con una configuración ojival,

- El Frutero y El Teatro (grandioso puente), en una amplia “plaza”,
- La Tortuga, después de seguir a través de amplias “calles”,
- Los Osos, en actitud de retozo, representados por dos inmensos bloques pétreos, y
- Los Amantes de Teruel, donde la imaginación intuye a dos románticas siluetas, que parecen querer iniciar un tímido beso.

### b). Los paisajes “underground”.

Estos paisajes se identifican con los de las galerías, que posibilitan el desarrollo de recorridos de esparcimiento.

Algunos paisajes subterráneos pueden tener, como factores revalorizantes:

- la presencia de lagunas interiores, que realzan la “belleza” de tales recintos,
- la espectacularidad, por sus dimensiones,
- el silencio reinante, roto, quizás, por caídas esporádicas de aisladas gotas de agua, y/o
- el “ruido sobrecogedor”, con sensaciones de miedo, que aparece, cuando dan cobijo a ciertas comunidades de animales.

En España, entre otros muchos ejemplos, se puede nombrar:

- Las Cuevas del Drach, en la isla de Mallorca (Baleares),
- La Cueva de Nerja, en Granada, y
- La Cueva de Aracena, en Huelva.

En estos tres conjuntos de grutas, destacan los siguientes los elementos arquitectónicos:

- grandes salas embovedadas,
- techos revestidos con primorosos encajes de estalactitas,
- pedestales de estalagmitas,
- columnas donde se combinan estalactitas y estalagmitas, y
- juegos de luces, a veces potenciados y/o creados artificialmente.

**Las Cuevas del Drach** se encuentran muy cercanas al mar, junto a Porto - Cristo, en el término de Manacor, en la vertiente oriental insular. Dista unos 62 kilómetros de la Ciudad de Palma de Mallorca.

Las rocas esculpidas, por los procesos kársticos, son unas calizas, una molasa blanquecina, del Mioceno (Era Terciaria).

Un embudo de derrumbamientos hace de entrada natural a un conjunto de cuatro cuevas:

- Cueva de los franceses,
- Cueva de Luís Salvador,
- Cueva Blanca, y
- Cueva Negra,

Los recintos contienen pasadizos y salas, con bóvedas, o no, a diferentes niveles, donde las estalactitas y estalagmitas:

- juegan un papel decorativo importante,
- y presentan diversas coloraciones (blanquecinas de cera, blanquecinas de cal, rojizas, amarillentas, azuladas, plúmbeas y negruzcas, entre otras).

Este relieve kárstico subterráneo permite que la imaginación pueda encontrar el cincelamiento:

- de formas de la Naturaleza viva (musgos, ramas, lianas desde el techo, plantas de ornamentación, figuras de animales y, sobre todo, figuras humanas,
- de imágenes religiosas y mitológicas,
- de recuerdos culinarios,
- y de representaciones inanimadas (banderas, trompeterías de órganos, castillo en ruinas y otras).

Las identificaciones de las formas con figuras imaginarias dan nombre a salas, a bóvedas, a estalactitas y estalagmitas y a rincones diversos.

Las cuevas albergan lagos interiores, que pertenecen a la interzona de un acuífero costero, donde se ponen en contacto, y se mezclan, las aguas subterráneas de tierra adentro con las marinas. Por ello, la salinidad de las aguas tiene distintos valores, conforme con el punto de muestreo: aguas salobres moderadas, hacia el mar, y aguas completamente dulces, hacia tierra.

El nivel del agua no se mantiene estático. Oscila entre 30 y 40 centímetros. Las causas están, entre otras variables, en los cambios de presión, en el interior de las cuevas, en relación con la meteorología exterior.

Estas aguas lagunares:

- Se caracterizan por su diafanidad y quietud. Así permiten que se reflejen techos y estalactitas. En ocasiones, se obtienen las sensaciones de que se unen agujas ascendentes del suelo con estalactitas, y que las techos forman un todo con los fondos. Las imágenes reales y reflejadas se juntan y se confunden.
- Y adquieren hermosísimas coloraciones, entre el verde, el azul y el blanco.

Aquí, las coloraciones de las aguas conllevan connotaciones batimétricas. Por lo general:

- las aguas verdes suelen indicar una profundidad de unos tres metros,
- las azuladas, que cubren fondos a unos ocho metros, y
- las blanquecinas, que sólo se dan profundidades de un metro.

El Lago Martel es el que presenta las mayores dimensiones. Tiene unos 177 metros de longitud, por 30 metros de anchura. La profundidad se sitúa entre 5 y 14 metros. Sus aguas han sufrido, a través de los tiempos, un descenso. Por las marcas dejadas, el nivel del agua llegó a una altura de cerca de un metro y medio, respecto a la situación actual.

Junto a este Lago, se levanta un anfiteatro, a estilo romano, desde donde se puede disfrutar de programados espectáculos:

- musicales “sobre góndolas iluminadas”,
- y luminotécnicos, con efectos especiales en una especie de amanecer.

En la “amanecida”, entran en escena los colores cálidos, que sugieren esmeraldas, topacios y amatistas, junto con otros colores, asimismo calientes.

Las estalactitas quebradas, inclinadas, con fragmentos desprendidos, que emergen o que se sumergen en los lagos, traducen:

- desprendimientos por gravedad, o
- cataclismos, que han sacudido a Mallorca, o a esta parte de la Isla, en épocas pasadas.

Este escenario se recorre a lo largo de unos dos kilómetros de caminos, que comunican a las cuatro cuevas.

El itinerario turístico, trazado a lo largo de la Cueva de los franceses y de la Cueva de Luís Salvador, las primeras en explorarse:

- tiene una longitud de unos 1 200 metros,
- está debidamente acondicionado y “urbanizado”, y
- soporta una iluminación artística.

La luz pretende hacer visible, o destacar, determinadas estalactitas y estalagmitas de formas caprichosas, meandros de agua, recodos especiales, etc.

En Venezuela, se puede dar otro ejemplo de “paisaje underground”. Se trata de la **Cueva del Guácharo**, en el Estado Monagas, también dentro de un contexto de procesos kársticos.

La caverna se ubica en el Macizo de Caripe, que está formado por calizas de la Formación El Cantil, pertenecientes al Cretáceo.

La longitud de la Cueva rebasa la distancia explorada hasta la actualidad: 10 200 metros El recorrido turístico, a través de una caminería interna, cubre los 1 500 metros. El recorrido máximo, que se le permite un visitante normal, es de 2 687 metros.

La entrada se encuentra definida por una boca amplia, de 23 metros de alto por unos 28 metros de ancho.

La Cueva del Guácharo, en su recorrido turístico, consta de dos grandes tramos:

- el externo, de unos 800 metros, y
- el interno, de unos 700 metros.

En ambos, abundan los elementos de la arquitectura kárstica, como las estalactitas y las estalagmitas, con sus formas caprichosas, que dan riendas sueltas a la imaginación del visitante.

El tramo externo se denomina Salón Humboldt, o de los Guácharos. Muestra una morfología tubular, está recorrido por un riachuelo, y proporciona cobijo a una numerosísima comunidad de “guácharos”.

El guácharo (*Steatornis caripensis*) es una ave, aparentemente agresiva, gregaria y troglófila, que prefiere vivir en la oscuridad de profundas cavernas y de grietas. Sólo por las noches, salen de sus cobijos, en bandadas, para buscar alimentos (frutos).

El cobijo a los guácharos supone dos cosas:

- El acondicionamiento turístico adecuado de la galería. No se debe perturbar a esta comunidad de aves. Sería totalmente impropio instalar una iluminación, más o menos artística, en parte, o en todo el trayecto, a modo de la Cuevas del Drach, en Mallorca. En la actualidad, la única iluminación que se utiliza son las antorchas de los guías. De esta manera, se evita, significativamente, los “deslumbramientos” a los moradores naturales.
- Y la captación, por el visitante, de un griterío sobrecogedor. El griterío proporciona una espectacularidad de “ruidos”, que lleva a sensaciones de miedo, o de riesgo, junto a un cierto grado de claustrofobia. Pero todo ello, en función de la sensibilidad del turista. Y para muchos, hay “belleza” en la experimentación de nuevas sensaciones, que supongan aparentemente riesgos, aunque muchas veces no de forma real, como ocurre en este caso.

Y en la peculiaridad de fuertes “sensaciones sobrecogedoras”, en un marco de “grandiosidad”, se puede basar la materia prima de un recurso, que pretenda un turismo:

- de curiosidad naturista, y/o
- de aventura.

Sin embargo, la explotación debe encontrarse controlada, o regulada, para que no se ponga en peligro sus contenidos (aquí su biocenosis). Nuevamente se plantea la necesidad de un desarrollo sustentable de los recursos. Pero no basta con proteger el cobijo, sino la totalidad del nicho ecológico, que abarca el área de donde los guácharos, en sus salidas nocturnas, obtienen los frutos. Y esto constituye uno de los argumentos para que se haya declarado Parque Nacional su entorno geográfico próximo.

Al tramo externo de la caverna le sigue el interno, separado del primero por una abertura angosta, de poca altura. Las dimensiones son las justas para que pueda pasar, aunque encorvado, una persona.

Este otro tramo se le llama Galería del Silencio. Y en verdad, es que impresiona por su majestuoso silencio, aun más si se contrasta la ausencia de sonidos y de ruidos con el constante y amenazador griterío, del relativo largo recorrido precedente. Y aquí aumentan más, o se despiertan en algo, las sensaciones de claustrofobia. Se ha penetrado más en las entrañas de la Tierra.

El tramo turístico, de la Galería del Silencio, culmina en el “enigmático” Salón Precioso.

## **5. El avance de una karstificación a corto plazo y las actividades del hombre**

Ante una karstificación rápida, que pueda repercutir en las actividades del hombre, se deberían hacer estudios, que siguieran la siguiente secuencia de pasos:

1. Delimitación del área afectada por la karstificación.
2. Caracterización de los procesos y efectos kársticos del área.
3. Determinación de las causas y variables que intervienen en los mismos
4. Detección, definición y evaluación de los problemas, que originan la karstificación en las actividades del hombre.
5. Asunción de los problemas y propuestas de soluciones.
6. Análisis y evaluación de los impactos ambientales, implicados en los proyectos de mitigación de los problemas.
7. Y retro-alimentación de los proyectos, con el estudio de impactos ambientales, y ejecución de las soluciones.

Anguita y Moreno (1993), desde una perspectiva de Geología Ambiental, resumen, para un caso en particular, los efectos en la agricultura, del desarrollo kárstico de un sustrato.

Estos autores seleccionan el escenario de la Cuenca del Río Ebro, en las proximidades de Zaragoza. En esta zona, los efectos y procesos kársticos tienen lugar en materiales margo - yesíferos, fosilizados por depósitos, muy permeables, de terrazas y de llanura de inundación. Las coberteras alcanzan potencias entre los 20 y 30 metros, y pueden formar, albergar, o alimentar, a acuíferos.

El sustrato que se karstifica, por el acuífero asociado, desarrolla numerosas dolinas “subterráneas”, que explican los desplomes y/o los hundimientos lentos de las coberteras. Obviamente, tales subsidencias crearán graves problemas en ciertos usos de la cobertera, por ejemplo:

- en los sistemas de regadío de los cultivos,
- en sectores de las líneas de ferrocarril,
- en tramos de autopistas,
- etc.

Por otra parte, Anguita y Moreno (1993), en la zona que toman de ejemplo, indican que se ha podido comprobar como los sistemas de regadío repercuten, claramente, en la karstificación del sustrato. Se verifica el crecimiento del número de dolinas en las proximidades de las acequias principales.

Las acequias en cuestión, con diseños y distribuciones prácticamente desde la colonización de los árabes, presentan, con mucha frecuencia, numerosas fugas (sumideros), a través de las cuales se pierde parte del caudal para el riego. El agua, que se pierde, es la que recarga al acuífero, que interviene activamente en la potenciación de la karstificación.

En la actualidad, se ha empezado a hormigonar la mayoría de las acequias, para relentizar la karstificación del sustrato fosilizado y, de esta manera, mitigar los desplomes y los hundimientos de los suelos, que se cultivan y que soportan construcciones y actividades diversas.

Tradicionalmente, los agricultores, acostumbrados a los desplomes y hundimientos, procedían al relleno de las zonas afectadas, hasta igualar sus cotas con las de la llanura circundante. Con los movimientos de tierras, se recuperaba, de nuevo, para el regadío, el terreno que había sufrido la subsidencia.

### Punto final

El término medioambiental -se incluyen los de medioambiente, entorno, y sus derivados- se está incorporando de forma muy rápida al lenguaje corriente, posiblemente, a partir de la recomendación realizada por la U.N.E.S.C.O. para que se introduzca la educación medioambiental en la enseñanza formal (Conferencia de Tbilisi, 1977). Sin embargo, no siempre se hace en su acepción más correcta. Esto no quita que sea un logro por lo que supone de concienciación ciudadana ante los problemas medioambientales que, en ocasiones, nos agobian.

Lo anterior debe hacer que, cuando se acometan cuestiones medioambientales de cualquier tipo, convenga tener presente algunos aspectos de interés que a continuación se tratan.

En principio, hay que destacar el carácter **globalizador** con el que se debe abordar el tratamiento de estos problemas, dada la enorme interrelación entre aspectos que hasta no hace mucho se consideraban de forma aislada. Esto supone tener que hacer un ejercicio de mayor complejidad, por la **interdependencia** que debe existir entre las formas de proponer tratamientos y soluciones desde diferentes ópticas (científicas y técnicas, entre otras).

El presente texto -que cierro, gracias a la amistad y generosidad del autor- no pretende realizar unas propuestas de soluciones. Se trata, más bien, de una forma distinta de plantear determinados aspectos geológicos, desde una visión algo más generalista. Opta por dar un enfoque más integrado dentro de la teoría "GAIA" de Lovelock, en la que cualquier modificación del entorno puede tener repercusiones en ámbitos hasta ahora imprevisibles y con valores poco conocidos. No olvidemos que Gaia puede "autodefenderse" eliminando de su superficie a la especie animal que intenta modificar drásticamente sus condiciones físico-químicas.

Las adaptaciones, por evolución, han requerido de mucho tiempo en la escala geológica. Cuesta creer que la especie humana evolucione lo suficientemente rápida, en el tiempo, como para adaptarse a las nuevas condiciones que, de seguir así, parece que son inminentes. El que puedan desaparecer determinadas especies de la faz de la Tierra, no es un hecho nuevo. No podemos olvidar que, en el pasado histórico de la Tierra, han existido grandes cambios -por causas naturales- en la composición de la atmósfera, que provocaron extinciones en masa y la aparición de especies mejor adaptadas a las nuevas condiciones ambientales (una mejora en la escala evolutiva).

Sin embargo, es frecuente constatar que, de una manera bastante generalizada, se suele atribuir el carácter de totipotente tanto a la "Naturaleza" como a la "Tecnología" humana. Es decir, que son capaces de solucionar, por sí solas o en unión, los problemas ambientales que se presenten. Se podrá estar de acuerdo con que hasta ahora, y en determinados casos, así ha sucedido, pero -siempre hay un "pero"- no podemos olvidar que la capacidad de reacción de la Naturaleza no es ilimitada, ni tampoco que la tecnología precisa esté siempre disponible cuando se requiera. Se conocen muchos casos en los que la tecnología actual se muestra incapaz de solucionar los problemas medioambientales que se plantean. En numerosas ocasiones, el avance tecnológico es más lento que la necesidad que tenemos de aplicar soluciones a problemas concretos.

Por otro lado, y en un corto periodo de tiempo, se ha pasado de considerar a los recursos para el desarrollo mundial como inagotables, a observar cómo escasean muchos de ellos, sin que podamos, en la mayoría de los casos, reponerlos. Y lo que es peor, con un deterioro más que evidente del entorno que nos rodea. Si a todo esto le sumamos el efecto **transfronterizo** que poseen las interacciones, no nos queda más remedio que buscar la solución entre todos, tanto a escala colectiva como individual.

Por otra parte, podríamos empezar ya a cuestionarnos la idea, obsesiva para muchos, de mejorar el nivel de vida y sustituirla por la de mejorar la **calidad de vida**. No necesariamente son equivalentes ambos términos, puesto que no siempre toda mejora del primero lleva aparejada un aumento en la calidad de vida.

Por ello, podría ser de interés el poder aplicar conceptos básicos, propios de las economías "domésticas", como pudieran ser los **reservas** y "**recursos**". Éste último, con una acepción diferente al de los párrafos precedentes.

Todo este planteamiento aparece como respuesta a la explotación -pasada y actual- de los recursos disponibles, sin que previamente nos cuestionemos la necesidad real que tenemos de ellos. Ante todo, convendría plantearse si los precisamos o no y, en el caso de que fuere afirmativo, tendríamos que cuantificar la "cantidad" pertinente dentro de lo disponible. Corremos el riesgo de agotarlos o degradarlos, con lo que perderían -posiblemente- su carácter de recurso, y provocaría que las generaciones futuras no pudieran disponer de ellos. Los derroches energéticos y materiales que ha hecho, y aún hace, la sociedad actual no tienen precedentes.

De esta forma se plantea la nueva (?) idea de “**recurso**” como aquella fracción del recurso natural a aprovechar sin que se vean afectadas las reservas mundiales disponibles, aunque no siempre es de aplicación esta idea de recursos - reservas. Serán estas reservas las que tengamos que salvaguardar para que sean utilizables por las nuevas generaciones en el futuro. Ahora bien, ¿Es posible evaluar las necesidades reales de los recursos precisos?. Puede suponer un proceso más o menos complicado. Pero...habrá que intentarlo. Nos jugamos en ello el futuro.

La solución podría estar si confluyen el que **sepamos** -lo que supone mejorar tanto el conocimiento sobre el medioambiente como la calidad de la educación ambiental-, que **podamos**, lo que supone mejoras en las herramientas y procedimientos idóneos a aplicar, que **queramos** -lo que implica necesarios cambios actitudinales en la sociedad-, y, además, que **nos dejen actuar eficazmente** ante estas cuestiones medioambientales. Esto último pasa por que las Administraciones tengan en cuenta el interés de los ciudadanos y asuman y ejecuten sus demandas. De esta manera no habrá posibilidad de aplicar el principio de “**Deus et machina**”, al que suelen recurrir -excesivamente, en nuestros días- las diferentes Administraciones.

Las Palmas de Gran Canaria, a 11 de diciembre de 1996

*Diego Casas Ripoll*

PROFESOR DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE

## Bibliografía

- ALEXANDER, C. S.** 1966. *Coast Classification*. A. Assoc. Amer. Geogr., 56 (1), 128
- ANADÓN, P.** 1989. *Medios Lacustres y Palustres*. Páginas 219 - 263. In: Arche, A. (Coordinador). 1989. *Sedimentología (Volumen I)*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- ANGUITA, F. Y MORENO, F.** 1993. *Procesos Geológicos Externos y Geología Ambiental*. Editorial Rueda. Madrid. 311 pp.
- ÁLVAREZ, R.** 1987. *Dinámica Sedimentaria en los Canales Marinos entre la Isla de Margarita y la Península de Araya (Venezuela)*. Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle., 47 (127 - 128): 77 - 104.
- ARCHE, A.** (Coordinador). 1989. *Sedimentología (Volumen I)*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. 541 pp.
- BELLONI, A., PADOVAN, N. Y PRESBITERO, M.** 1996. *Geological and Seismic Risk Determination for Urban Planing*. Páginas 291 - 308. In: Chacón, J. e Irigaray, C. (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen III. Universidad de Granada.
- BERGSTRFM, B.** 1989. *Quaternary Geological Maps: An Important Tool in Solving Land-Use Conflicts in Norway*. Terra (Abstracts of the "EUGV", 1989). Pag 101.
- BORDES, F. J.** 1994. *El Programa de Rehabilitación, una Respuesta al Deterioro Generalizado de la Isla de Gran Canaria*. Revista del Cabildo Insular de Gran Canaria. Número de mayo. Páginas 5 - 6. Las Palmas de Gran Canaria.
- BRABB, E.** 1996. *Hazard Maps Are Not Enough*. Páginas 331-336. In: Chacón, J. e Irigaray, C. (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen I. Universidad de Granada. 640 pp.
- BROWN, L., BREWTON, J., MCGOWEN, J., EVANS, T., FISHER, W. AND GROAT, C.** 1976. *Environmental Geologic Atlas of the Texas Coastal Zone - Corpus Christi Area*. Bureau of Economic Geology. The University of Texas at Austin. 123 pp. y 9 mapas.
- CANTÚ, M.P.** et al. 1996. *Impact of Urbanization on Hydric Erosion Processes . . . Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Granada, 22 - 25 de abril. Presentación oral.
- CENDRERO, A., NIETO, M., ROBLES, F. Y SANCHEZ, J.** (Directores). 1986. *Mapa Geocientífico de la Provincia de Valencia*. Diputació Provincial de València. Universitat de València. Universidad de Cantabria.
- CENDRERO, A.** 1987. *Cartografía Integrada de Zonas Litorales Emergidas y Sumergidas para la Planificación*. Seminario Internacional sobre Zonas Litorales. Consejo de Europa. Bilbao. 8-17 de octubre. Documento de 50 pp.
- CENTENO, J.D., DE PEDRAZA, J. Y ORTEGA, L.I.** 1983. *Estudio Geomorfológico, Clasificación de Relieves de la Sierra de Guadarrama y Nuevas Aportaciones sobre la Morfología Glaciar*. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol), 81 (2-4), 153-171.
- CHRISTIAN, C. S. Y STEWARD, G.A.** 1964. *Methodology of Integrated Surveys. Aerial Surveys and Integrated Studies*. Proc. Toulouse. Unesco. París. 233-280.
- COPEIRO DEL VILLAR, E.** 1996. *Actuaciones de Acondicionamineto Recreativo de la Costa*. Ponencia. V Semana de Ingeniería (11 - 16 de noviembre). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- COROMINAS, J.** (Editor). 1989. *Estabilidad de Taludes y Laderas Naturales*. Monografía número 3. Sociedad Española de Geomorfología - Departamento de Ingeniería del Terreno de la Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 249 pp.
- COROMINAS, J. Y MOYA, J.** 1996. *La Datación de Deslizamientos: Implicaciones Dinámicas y Climáticas*. Páginas 337-356. In: Chacón, J. e Irigaray, C. (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen I. Universidad de Granada. 640 pp.
- CRAIG, R. Y CRAFT, J.** 1982. *Applied Geomorphology*. George Allen and Unwin. London. 253 pp.
- CUERDA, J.** 1989. *Los Tiempos Cuaternarios en Baleares*. Edita Consellería de Cultura, Educació y Esport. Govern Balear. Palma de Mallorca. 310 pp. 20 láminas.
- D'ANCONA, H.** 1972. *Tratado de Zoología*. Tomo II. Zoología Especial. Editorial Labor. Barcelona. 1054 pp.

- DE MULDER, E.F.J.** 1996. Geoscience for Urban Developmen. *Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Granada, 22 - 25 de abril. Presentación oral.
- DÍAZ DE TERÁN, J. R.** 1983. *Una Metodología para el Análisis del Físico del Territorio y para la Definición de Aptitudes de uso en la Zona Costera Oriental de Cantabria*. Segunda Reunión Nacional del Grupo Español de Geología Ambiental y de la Ordenación del Territorio. Lérida. 1.64-1.81.
- DÍAZ DE TERÁN, J.R.** 1985. *Estudio Geológico - Ambiental de la Franja Costera Unquera - Castro Urdiales (Cantabria) y Establecimiento de Bases para su Ordenación Territorial*. Tesis de Doctorado (inérita). Universidad de Oviedo.
- ENRIQUEZ, F. Y BERENGUER, J.M.** 1986. *Evolución Metodológica del Impacto Ambiental de las Obras de Defensa de Costas*. CEDEX. Madrid. 40 pp.
- DUNBAR, C. Y RODGERS, J.** 1963. Principios de Estratigrafía. Compañía Editorial Continental. México. 422 pp.
- FERRER, M. Y GALLEGO, V.** 1996. *Metodología para el Estudio y Caracterización de Zonas con Movimientos de Ladera a Gran Escala*. Páginas 393-406. In: Chacón, J. e Irigaray, C. (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen I. Universidad de Granada. 640 pp.
- LUZI, L. AND PERGALANI, F.** 1996. A Methodology for Slope Instability Zonation Using a Probabilistic Method. Páginas 537-556. In: Chacón, J. e Irigaray, C. (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen I. Universidad de Granada. 640 pp.
- FERGUSON, H.** 1974. *Geologic Mapping for Environmental Purposes*. The Geological Society of America. Engineering Geology Division. Boulder, Colorado.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.** 1996. *Riesgo Sísmico y Vulnerabilidad en Ciudades*. Ponencia en la Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Granada, 22 - 25 de abril.
- GRAU, J. I.** 1987. *Los Pilotes Pasivos en la Estabilización de Taludes*. Ingeniería Civil, 63, 37 - 42.
- GUTIERREZ, J., MARTÍN, A. Y NAVARRETE, A.** 1982. *Morfología y Dinámica Litoral*. I. C. E. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- HJULSTRÖM, F.** 1935. *Studies of the Morphological Activity of Rivers as Illustrated by the River Fyris*. Upsala Univ. Geol. Inst. Bull., 25, 221 - 527.
- INMAN, D. L. AND NORDSTROM, C. E.** 1971. *On the Tectonic and Morphologic Classification of Coasts*. Jour. Geol., 79 (1), 1-21
- INMAN, D. Y BRISH, B.** 1973. *The Coastal Challenge*. Science.181, 20-32.
- LANG, A. AND DIKAU, R.** 1996. *New Physical Techniques and their Possible Applications for Dating Slope Movements*. A partir de Corominas y Moya (1996).
- LUINO, F., ARATTANO, M Y BRUNAMONTE, F.** 1996. *Vulnerability of Urban Areas Flooding . . .* Páginas 309 - 328. In: Chacón, J. e Irigaray, C. (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen III. Universidad de Granada.
- LLANO, M., GUEVARA, P. Y ACEVEDO, A.** 1991. *El Análisis Vectorial en la Determinación de Zonas de Erosión, Transporte y Sedimentación en Lagunas Costeras*. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Tomo LI, número 135 - 136. Isla de Margarita (Venezuela).
- MARTÍNEZ, J.** 1984. *Formas y Estructuras Volcánicas e Hipoabisales*. I.C.E. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 52 pp.
- MARTÍNEZ, J.** *Meteorización de las Rocas Basálticas de Gran canaria* (Tesis Doctoral). 1982. Inédita. Universidad de Granada.
- MARTÍNEZ, J.** 1985. *Geomorfología: Un Modelo para el Entorno Canario*. Tipografía - Imprenta El Pino. Las Palmas de Gran Canaria. 117 pp.
- MARTÍNEZ, J.** 1987. *Playas de Gran Canaria (España): los Carbonatos de sus Arenas*. Bol. Inst. Esp. Oceanogr., 4(2), 7 - 14.
- Martínez, J.** 1990. *La Predicción de la Erosión Intermareal por Temporales, en Playas Arenosas, del EntornoCanario*. Memorias del Primer Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería (Las Palmas de Gran Canaria). Páginas 82 - 89.
- MARTÍNEZ, J.** 1994. *El Paisaje Natural y Rural desde la Perspectiva de la Ordenación, Planificación y Manejo de un Territorio. Los Impactos Paisajísticos*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oriente. Cumaná. 120 pp.

- MARTÍNEZ, J., CASAS, D. Y GÓMEZ, J.** 1996. *La Vulnerabilidad del Litoral y su Sustentabilidad, en Relación con la Explotación de la Camaronicultura como Recurso Costero*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oriente. Cumaná. 129 páginas.
- MECO, J.** 1991. *6 Láminas sobre las Paleolíneas Costeras de Fuerteventura*. Cabildo Insular de Fuerteventura. Casa - Museo de Betancuria. Puerto del Rosario (Fuerteventura).
- MELÉNDEZ, B. Y FUSTER, J.** 1981. *Geología*. Paraninfo. Madrid.
- MOLINERO, F.** 1990. *Los Espacios Rurales: Agricultura y Sociedad en el Mundo*. Ariel Geográfica. Barcelona.
- MORENO, T. Y CASTRO, J.** 1995. *Seguimiento Científico de la Comunidad Ictiológica de la Charca de Maspalomas (Gran Canaria)*. Mayo 93 - Marzo 95. Consejería del Medio Ambiente. Gobierno de Canarias. Las Palmas. Documento de 96 pp.
- NIJKAMP, P AND SCHOLTEN, H.J.** 1993. *Spatial Information Systems: Design, Modelling and Use in Planning*. IJGIS 7,1, 85-96
- OLLIER, C.** 1984. *Weathering*. Longman. London.
- OTTMANN, F.** 1965. *Introduction a la Geologie Marine et Litorale*. Massson et Cie. París.
- PATRONO, A.** 1995. *GIS, Geomorphology and Environmental Impact Assesment*. ITC Journal. 1995-4, 345-346.
- PATRONO, A., FABBRI, A. Y VELDKAMP, J.C.** 1995. *GIS Analysis in Geomorphology for Environmental Impact Assesment Studies*. ITC Journal. 1995-4, 347-353.
- RAMÍREZ, P.** 1996. *Las Lagunas Costeras Venezolanas*. C.R.I.A. Porlamar (Venezuela). 275 pp.
- REMONDO, J., DÍAZ DE TERÁN, J.L., CENDRERO, A., Zafra, P., Marticorena, B. y Tamés, P.** 1996. *Constrastación de los Mapas de Peligrosidad por Inestabilidad de Laderas en Gipuzkoa*. Páginas 377-382. In: **CHACÓN, J. E IRIGARAY, C.** (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen I. Universidad de Granada. 640 pp.
- RIVAS, M.V., RIX, K., FRANCES, E., CENDRERO, A. AND BRUNSDEN.** 1995. *The Use of Indicators for the Assesment of Impacts on Geomorphological Features*. In: Marchetti, M et al. (eds). 1990. *Geomorphology and Environmental Impact Assesment*. Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria, 3.
- ROBINSON, G. Y SPIEKER, A (DE.).** 1978. "Nature to be ...Commanded". *Earth - Science Maps Applied to Land and Water Management. Geological Survey Professional Paper 950*. United States Government Printing Office. Washington.
- RODRÍGUEZ, A.** 1990. *The Environment and the Human Society in the Western Pyrinees and the Basque Mountains During the upper Pleistocene and the Holocene*. Internacional Conferencia. Vitoria. 3-5 de mayo.
- SABOT, F., SURINACH, E., MARTÍNEZ, P., OLOVERA, C. Y GAVALDÀ, J.** 1996. *Detección Sísmica Aplicada a la Caracterización de las Avalanchas de Nieve*. Páginas 615 - 621. In: Chacon, J. e Irigaray, C (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen I. Universidad de Granada. 640 pp.
- SÁNCHEZ ARCILLA, A.** 1984. *Configuración de la Línea de Costa*. Páginas 309 - 350. In: Sánchez Arcilla, A (Director). *Curso intensivo de Ingeniería de Costas*. Universidad Politécnica de Cataluña - MOPU (Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones. Madrid. 570 pp.
- SÁNCHEZ, T.** 1992. *Registros de Perforaciones del Techo del Acanilado de Guacuco (Isla de Margarita, Venezuela)*. Oficina de Ingeniería de Teodulo Sánchez (Isla de Mrgarita). Obra: Desarrollo Urbanístico de "Guarame". Carretera Guacuco - La Fuente.
- SCHUBERT, C. Y MOTICKA, P.** 1993. *Reconocimiento Geológico de las Islas Venezolanas en el Mar Caribe, entre Los Roques y Los Testigos (Dependencias Federales)*. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos. Caracas Volumen 8, Números 1 - 2. pp. 1 - 48.
- SCHUHMACHER, H.** 1978. *Arrecifes Coralinos*. Ediciones Omega. Barcelona. 288 pp.
- SERRA, J. Y RIERA, G.** 1993. *La Desembocadura del Río Ebro: Variabilidad y Cambios Recientes*. Geogaceta, no 14, 27 - 28.
- SHEPARD, F. P.** 1973. *Submarine Geology*. De. Harper and Row. london. 518 pp.
- SOROKIN, Y. Y.** 1995. *Coral Reef Ecology*. Springer. Berlin. 465 pp.
- SPANGLE, W.** 1976. *Earth - Science Information in Land - Use Planning. Guidelines for Earth Scientists and Planners*. Geological Survey. Circular 721. U.S. Department of Housing and Urban Development. Office of Policy Development and Research. Arlington.

- STAPELBERG, F.** 1996. *Optimizing Urban Expansion in a Developing Country - The Engineering Geological Perspective*. Páginas 285 - 290. In: **CHACÓN, J. E IRIGARAY, C.** (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen III Universidad de Granada.
- STEENE, R.** 1992. *Arrecifes de Coral*. Plaza & Janes - Tusquets y Fundació "La Caixa" (Museo de la Ciencia). Encuentro Editorial, S. A. Barcelona. 336 pp.
- SUÁREZ BORES, P.** 1980. *Formas Costeras*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
- TOMLINSON, P. B.** 1986. *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press. Cambridge. 405 pp.
- Tomo Ito.** 1981. *Soils and Foundations*, 21 (1).
- TRILLA, J.** (Director). 1985. *El Medi Fisic Terrestre del Litoral de Catalunya*. Department de Política Territorial i Obres Públiques. Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- VALENTIN, H.** 1952. *Die Kusten der Erde*. Petermanns Geog. Mitt., 246
- VERA, J., GALLEGOS, J. Y ROCA, A.** 1978. *Geología*. Edelvives. Zaragoza. 479 pp.
- VARELA, R. Y CÁRDENAS, J.** 1984. *La Blanquilla. Naturan (Venezuela)*. Número 76, 6 - 15 pp.
- YÉPEZ, F., BARBAT, A.H. Y CANAS, J.A.** 1996. *Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios Urbanos. Evaluación y Soluciones para la Mitigación y Mejora de la Organización del Territorio*. Páginas 425 - 444. In: **Chacon, J. e Irigarai, C.** (Editores). 1996. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Volumen III. Universidad de Granada.
- ZARZOSA, J.** 1974. *Características Sedimentológicas y Geomorfológicas de la Laguna de la Restinga, Isla de Margarita - Venezuela*. Cuadernos Azules. Instituto Oceanográfico. Universidad de Oriente. Venezuela. 59 pp.
- ZAZO, C.** 1991. *Documento de la Mesa Redonda sobre el Cuaternario Litoral*. VIII Reunión sobre el Cuaternario. Valencia, 16 - 20 de septiembre.
- ZEUNER, F.** 1958. *Líneas Costeras del Pleistoceno en las Islas Canarias*. Anuario de Estudios Atlánticos, 4; 9 - 16.

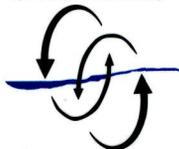


**Universidad de Oriente  
VENEZUELA**



**Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
SERVICIO DE PUBLICACIONES**

**FACULTAD  
DE CIENCIAS  
DEL MAR**



**UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA**