

## Capítulo 4

### RESUMEN Y CONCLUSIONES

Esta tesis es una contribución al análisis y la cuantificación de los efectos de la morfodinámica costera sobre los usos y recursos de la costa, por lo que puede considerarse como un elemento de ayuda en el proceso de gestión y/o planificación costera. De todas las combinaciones posibles, se han seleccionado los ambientes costeros más representativos de nuestro entorno, las playas, y las funciones consideradas de forma prioritaria por los gestores: natural, protección y recreativa.

Para ello se ha partido del concepto de vulnerabilidad que implica asignar un valor añadido a un proceso natural en función de una serie de propiedades o características del sistema. Es decir, se evalúa como se comporta físicamente la playa y cuales son las consecuencias sobre las funciones de interés.

Esta aproximación ha sido en primer lugar formulada y aplicada en el delta del Ebro tomándolo como paradigma de costa sedimentaria que evoluciona a diferentes escalas y con un territorio que soporta diferentes usos y recursos. En este caso se pretende, a partir del conocimiento actual de los procesos actuantes en el delta y con un marco de análisis orientado a la evaluación de sus implicaciones, cuantificar su vulnerabilidad a diferentes escalas y para diferentes valores.

El método de análisis propuesto evalúa la vulnerabilidad del sistema de forma específica para un valor o función dada mediante la identificación de la contribución de un proceso a la escala considerada a la susceptibilidad (degradación) o a la resistibilidad (adaptación o mejora) del sistema de forma excluyente. Una vez evaluada esta contribución se aplica un factor de escala espacial representativo del valor analizado.

En el análisis de vulnerabilidad a largo plazo (varias décadas) se detecta que el proceso que controla la mayor parte de la respuesta negativa del delta del Ebro, sobre todo en términos de superficie potencialmente afectada, es el ascenso relativo del nivel del mar

(figura 3.2.11), afectando potencialmente a un 50% del territorio y de forma probable a un 25%. De los valores del territorio analizados (natural y económico -a través de la agricultura-), la vulnerabilidad más alta se corresponde al valor natural puesto que la práctica totalidad de las áreas de alto valor se encuentran en las zonas más bajas. En este caso la vulnerabilidad potencial asciende a -0.9 (para un valor máximo posible de -1) con un valor probable de -0.76 (tabla 3.2.4). En comparación, la vulnerabilidad potencial de la actividad agrícola es de menos de la mitad (-0.42) y la probable es de menos de la tercera parte (-0.19) (tabla 3.2.4).

En el análisis de vulnerabilidad asociado al impacto de tormentas se ha tenido en cuenta la respuesta diferencial de parte de la costa del delta que habitualmente sufre roturas del cordón de playa e inundaciones debido a su morfología y localización (figura 3.2.13). Al igual que en el caso del análisis a largo plazo, el valor más vulnerable es el natural puesto que las zonas húmedas están próximas a la línea de costa, tomando un valor de -0.25 (tabla 3.2.6). Por contra, la vulnerabilidad de la actividad agrícola es muy pequeña y casi despreciable en términos relativos cuando se considera la superficie agrícola explotada. Hay que tener en cuenta que los procesos asociados al impacto de tormentas actuarán sinérgicamente con los que se verifican a largo plazo, lo que hará que a la hora de evaluar la vulnerabilidad del sistema deban considerarse ambas situaciones de forma conjunta, a menos que el análisis se haga a muy corto plazo.

El principal resultado a destacar del análisis de vulnerabilidad en el delta del Ebro es que aunque la mayor parte de su superficie se dedica a la agricultura, la función más vulnerable con diferencia es la "natural", siendo los humedales costeros el valor representativo.

Una vez hecha esta aproximación general al problema, se ha abordado de forma diferenciada las interacciones entre el comportamiento físico de la costa y las funciones que ésta desempeña.

*Para evaluar la influencia de la morfodinámica costera sobre la función natural se ha analizado el papel que juega la costa al dar un soporte físico para el desarrollo de ecosistemas o para crear hábitats. Por lo tanto, más que analizar como se pueden ver afectadas las funciones y estructura de los ecosistemas, se parametriza esta interacción en base a los procesos físicos que pueden afectar al valor natural clave escogido.*

El análisis se ha planteado como una extensión del realizado a larga escala para el delta del Ebro y por ello se representa el valor natural a través de humedales costeros como recurso clave. En este caso, los procesos considerados que pueden afectar a la supervivencia del ecosistema o a su estructura actual han sido la evolución de la línea de orilla y el régimen de tormentas/inundaciones. El primero de estos procesos, en el caso de costas erosivas, controlaría el grado de afectación directa a través de la posibilidad de desaparición física de los humedales, mientras que el segundo contribuiría además a la modulación de la influencia del agua de mar en la estructura de las comunidades que componen el humedal.

Estos procesos y respuestas se han parametrizado en forma de controlador fuzzy para evaluar la vulnerabilidad costera (medida en términos de afectación de la función natural). El controlador utiliza como variables de entrada la distancia del humedal a la línea de orilla y las tasas de desplazamiento a largo plazo de estas (figura 3.3.14). La salida del sistema es un índice de vulnerabilidad que permite caracterizar la susceptibilidad (valor máximo de -1) o resistibilidad (valor máximo de 1) de los humedales para un escenario dado. Esta propuesta de sistema de evaluación tiene la ventaja de ser lo suficientemente versátil para adaptar el mismo a cualquier tipo de recurso natural y proceso costero siempre que se conozcan los fundamentos básicos de su interacción.

El método desarrollado se ha utilizado para evaluar la vulnerabilidad de los humedales existentes en la Illa de Buda (Els Calaixos) y su aplicación a los escenarios de 1957 y 1996 resulta en una correcta determinación de las zonas más susceptibles valorando las variaciones espaciales y temporales en los índices de vulnerabilidad (figura 3.3.16). Asimismo, los resultados obtenidos han permitido identificar la necesidad de actualización de las tasas evolutivas a lo largo de la costa para poder estimar de forma correcta los cambios (o evolución) en la vulnerabilidad del sistema para que la evaluación sea útil en la gestión del territorio.

Si se valoran conjuntamente los resultados del análisis de vulnerabilidad de los humedales de la Illa de Buda a la erosión costera y los obtenidos en el análisis de inundación, hay que clasificar esta zona y este valor (el natural con un ecosistema con una estructura de comunidades como la actual) como muy vulnerable. Esto es debido a que prácticamente todos los procesos costeros actuando a todas las escalas temporales contribuirían sinérgicamente a la degradación del sistema tal como lo conocemos. Dado que la zona está englobada dentro del Parc Natural del Delta de l'Ebre y, de hecho, presenta un ecosistema diferenciado del resto de humedales, es de esperar que de

mantenerse las condiciones evolutivas actuales el valor natural del Parc varíe (disminuya). Así, aunque en términos de superficie el Parc se mantuviese “constante” (las zonas perdidas aquí se ganarían en otras zonas como las flechas) sus características o valores no, dado que las comunidades que se verían alteradas en la Illa de Buda no podrían reproducirse en las zonas de acumulación.

*La influencia de la morfodinámica costera en la función de protección* se ha analizado para los principales ambientes que muestran problemas debido a esta interacción a lo largo de nuestras costas, *i.e* las playas urbanas. Estas se caracterizan por estar urbanizadas y disponer de un conjunto de infraestructuras en su parte trasera cuya estabilidad o seguridad depende en gran medida de la “salud” de la playa.

A la hora de identificar los procesos físicos que afectan a esta función nos hemos restringido a los característicos de la costa Mediterránea dado que son comunes en casi cualquier costa. En cualquier caso, la aproximación seguida es lo suficientemente versátil como para poder incluir otro tipo de agentes y procesos que puedan ser relevantes en otras zonas costeras.

La función de protección de la playa consiste en el papel que juega ésta en disipar/absorber la energía del oleaje durante el impacto de tormentas evitando que éste llegue a las infraestructuras interiores o, al menos, reduciendo la intensidad del impacto, por lo que las variables y procesos claves seleccionados caracterizan al agente impulsor -la tormenta- y el estado de la playa -ancho de playa y variación prevista-. Estas variables y procesos han sido combinados en un índice de vulnerabilidad (figura 3.4.4) que incluye variables directamente medidas que reflejan el estado actual de la playa (ancho efectivo de playa), variables derivadas del análisis de datos y que reflejan el estado evolutivo y la condición futura de la playa (tasas de evolución de la línea de orilla) y variables obtenidas a través del uso de modelos (alcance de las tormentas) que caracterizarían la respuesta de la playa al temporal y que aporta un carácter probabilístico al método a través de la definición de éste (figura 3.4.3 y tabla 3.4.1). Este índice (o su aplicación) permite al gestor seleccionar el nivel de seguridad del análisis mediante la selección del período de retorno de la tormenta y su validez temporal al poder definir el tiempo de proyección del análisis.

El método desarrollado se ha aplicado/validado evaluando la función de protección que juega la playa de s'Abanell de cara a controlar la vulnerabilidad de su borde interior conformado por un paseo marítimo -en sus 1.5 Km más al Norte- o por el límite de un

camping -en sus 500 m más al Sur-. El análisis de la playa se ha realizado para varios escenarios tanto de ancho de playa como de fase evolutiva y los resultados muestran que la función de protección y, en consecuencia, la vulnerabilidad de las infraestructuras depende muy significativamente del comportamiento evolutivo de la playa.

Los resultados obtenidos indican que incluso para temporales no excesivamente extraordinarios (con un período de retorno de 10 años) la playa no presta adecuadamente la función de protección en sus extremos. Esta pérdida de calidad de la playa (en lo referente a su capacidad de protección) ha sido progresiva desde finales de los años 70 debido al cambio en el comportamiento evolutivo de la playa. El método propuesto ha permitido estimar (y podría haberlo hecho en su momento) la aparición de la vulnerabilidad en las zonas críticas al adoptar una visión dinámica del planeamiento (incluyendo el comportamiento de la costa). Los errores cometidos al adoptar una visión estática como son el construir infraestructuras en la playa considerando sólo el ancho de ese momento y no su evolución futura, se han visto ya reflejados en los daños sufridos por el paseo desde finales de los años 80 hasta ahora.

Los resultados obtenidos para la situación actual y la previsión futura de la vulnerabilidad (figura 3.4.18) indican que la parte Sur de la playa –próxima a la desembocadura del Tordera- ocupada en su zona interior por los campings e infraestructuras asociadas a la desaladora, dejará de ejercer la función de protección de forma efectiva y, en consecuencia, estas infraestructuras o usos serán muy susceptibles al impacto de tormentas. Asimismo, caso de mantenerse el comportamiento evolutivo de la playa esta vulnerabilidad aumentará en el tiempo aunque el régimen de tormentas sea estacionario.

*La influencia de la morfodinámica costera en la función recreativa* de las playas se ha analizado a través de la variación en la capacidad de carga de playas de uso turístico de nuestro entorno. Estas se caracterizan por ser relativamente estrechas, estar explotadas o utilizadas de forma intensiva y presentar un uso estacional restringido principalmente al verano.

Para analizar esta variación en la capacidad de carga se ha partido de una zonación transversal desde el punto de vista recreativo en la que, independientemente del ancho de playa existente, hay una zona de uso preferencial. Asimismo, también se considera que la configuración óptima de la playa (en función de esta capacidad de carga) debe verificarse al inicio de la temporada de uso -verano en el Mediterraneo- que coincide con la época de menor intensidad de la dinámica litoral (figura 3.5.4) pero que es el resultado

de la dinámica de las estaciones anteriores (integral de los agentes y procesos actuando durante el invierno y primavera). El análisis se ha realizado para tres comportamientos morfodinámicos tipo: erosión a largo plazo, impacto de temporales y fluctuaciones estacionales en playas encajadas.

El efecto de la erosión a largo plazo se ha formalizado en un modelo conceptual en el que se relaciona la variación en el ancho de la playa con la variación en su carga o superficie disponible por usuario (figura 3.5.5). El modelo discrimina entre situaciones en las que una variación en la superficie no implica un cambio en la carga y aquellas en las que ambas variables están ligadas. Aunque ha sido formulado y aplicado asumiendo una afluencia de usuarios constante, puede ser utilizado para un número variable de visitantes.

Este modelo ha sido aplicado a la playa de s'Abanell partiendo de la configuración y la carga o densidad de uso de 1983. A partir del análisis se detecta que la capacidad de carga se ha mantenido más o menos constante (asumiendo que el número de usuarios no varía) hasta mediados de los años 90 para comenzar a decrecer significativamente hasta la actualidad con una disminución superior a  $1 \text{ m}^2/\text{usuario}$ . Las previsiones a corto plazo (10 años) indican un mantenimiento de esa disminución de la capacidad de carga estimándose que podría llegarse al nivel de saturación aproximadamente en el año 2020 (figura 3.5.10).

Este modelo puede ser adaptado para evaluar el efecto puntual que tiene el impacto de tormentas sobre la superficie de playa disponible (figura 3.5.13). Dada la distribución temporal a lo largo de un año del uso de la playa y la presentación de temporales en nuestras latitudes (figura 3.5.4) la influencia de las tormentas sobre la explotación recreativa de la playa se producirá cuando éstas se presenten de forma tardía al inicio de la temporada turística cuando la época de temporales se extienda más de lo habitual. En esas condiciones los procesos de recuperación natural de la playa tras el paso de los temporales serían insuficientes para reconstruir la playa en una configuración óptima desde el punto de vista de su explotación y uso recreativo.

Esta situación se ha producido en muchas playas de la costa catalana en los años 2002 y 2004 como resultado de dos períodos de invierno y primavera especialmente intensos en términos de frecuencia e intensidad de temporales (figura 3.5.12). Como resultado de los mismos al inicio de la temporada de baño esas playas presentaban anchos insuficientes para soportar la carga de uso habitual. De hecho, algunas de esas playas no pudieron ser

explotadas de acuerdo al Plan de Usos correspondiente dado que físicamente era imposible.

En el caso de playas encajadas al no presentar habitualmente una variación en la superficie de playa sino una redistribución, se ha propuesto un indicador que cuantifique el efecto potencial del basculamiento mediante la medida de la desviación de la configuración de la playa respecto a un valor óptimo (figura 3.5.17). A medida que el basculamiento determine que en uno de sus extremos el ancho de playa es inferior al óptimo, la calidad de la playa disminuirá. El valor del indicador sólo mide la extensión de la playa afectada por la disminución, dado que si se tuviera en cuenta también la parte que aumenta ambos valores se contrarrestarían e indicarían que la playa sigue teniendo la misma calidad independientemente de su forma en planta.

El modelo ha sido aplicado a la playa de Lloret para una situación de basculamiento “extremo” al inicio de la temporada turística del año 2004 (figura 3.5.16). El indicador valora que sólo un 55% de la longitud de la playa tenía una configuración óptima para el uso recreativo y, de hecho, el ayuntamiento tuvo que realizar un trasvase de arena en la playa buscando optimizar la planta para su uso recreativo durante la temporada.

Como punto final de esta tesis podemos decir que se ha demostrado la influencia que tiene la morfodinámica en los usos y recursos del litoral mediante un análisis de las principales funciones costeras (natural, protección y recreativa). Esta influencia puede ser fácilmente cuantificable para lo cual se necesita disponer de datos apropiados para caracterizar la evolución costera y seleccionar un criterio de valoración apropiado para cada función. En la medida en que el gestor/planificador sea consciente de la necesidad de adoptar esta perspectiva dinámica y que el técnico/científico aporte herramientas que le permita cuantificar de forma apropiada estas interacciones, probablemente estaremos avanzando hacia una gestión más adecuada de nuestra zona costera.

## **FUTURAS LINEAS DE ESTUDIO**

El trabajo desarrollado en estas tesis ha supuesto la apertura de una línea de trabajo en la que se pone el énfasis en la evaluación de las implicaciones de los procesos físicos sobre la gestión del territorio. Por ello, las posibles líneas de trabajo que pueden plantearse a partir de los resultados obtenidos así como las identificadas pero que no han

sido tratadas aquí son numerosas. Sin ser exhaustiva, a continuación se comentan una serie de tópicos potencialmente interesantes, alguno de los cuales ya están siendo abordados.

La evaluación de forma interdisciplinar de las interacciones consideradas aquí pero incluyendo de forma mucho más explícita las dinámicas no sólo físicas, sino también las de los subsistemas ecológico, social y económico con una visión integrada a nivel de territorio. Esta línea ya está en marcha en cuanto a zonas costeras de interés turístico dentro de un proyecto financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia coordinado por la UPC denominado MeVaPlaya en el que participan la Universitat de Girona y el Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CSIC) y en el que se ha realizado parte de este trabajo.

La propuesta de métodos de evaluación o valoración ambiental de zonas costeras en las que de forma objetiva se pueda cuantificar los efectos de los procesos costeros sobre el medio natural.

El desarrollo de índices o métodos de valoración de la calidad de playas teniendo en cuenta no sólo aspectos recreativos como se hace habitualmente sino integrando las diferentes funciones que éstas juegan. Ambos aspectos ya están en marcha, y actualmente se están desarrollando dos tesis en estas líneas conjuntamente entre la UPC y el CEAB (CSIC).

La extensión de los métodos de valoración como los analizados aquí a métodos de toma de decisiones incluyendo aspectos de planificación territorial y un marco administrativo de la zona. Esto supondría tanto avanzar en la construcción de “sistemas expertos” como en la implicación de los gestores/planificadores en el diseño de las herramientas.

Por último, es evidente que la aproximación seguida aquí se puede extender, aplicar y/o reformular para otros ambientes costeros de interés caracterizados por una dinámica diferente y/o para otras funciones costeras. En cualquier caso, lo que si se ha identificado claramente es la necesidad de seguir desarrollando conocimiento y técnicas para aplicarlo en estos aspectos “prácticos”, no sólo a partir del trabajo realizado en la tesis, sino con mirar el estado de nuestro litoral.