

Adaptación al cambio climático en el Delta del Ebro



Ramiro Aurín Lopera

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Comunicador. Proyectista. Director técnico
del Plan Integral del Delta del Ebro

Resumen

Estrategia desarrollada para conseguir la viabilidad y sostenibilidad del desarrollo urbanístico de un núcleo urbano del Ayuntamiento de Deltebre denominado Riumar, situado en la costa deltaica, al norte de la desembocadura del río Ebro.

Palabras clave

Cambio climático, urbanización, dinámica marina, Delta del Ebro, subida del nivel del mar, Riumar

Abstract

Strategy to ensure the viability and sustainability of urban development at the Riumar residential complex within the Deltebre municipal area, on the delta coast to the north of the mouth of the River Ebro.

Keywords

Climate change, Urban planning, Marine dynamics, Ebro Delta, Rising sea level, Riumar

Introducción

El cambio climático es una evidencia y, más allá de su origen o de las causas inmediatas que lo están provocando, lo importante es, por un lado, hacer lo posible para no acelerarlo, reduciendo nuestra contribución al efecto invernadero, y por otro, adaptarnos a gestionar el nuevo paradigma climático. La catástrofe es un estado de ánimo y tiene más que ver con la percepción del cambio que con la realidad. Muy al contrario, la realidad es cambiante por definición y la ingeniería sirve, entre otras cosas, para adaptarnos a vivir en sus contornos. Frente a fatalismos milenaristas, que bajo la apariencia de racionalidad, no hacen sino sustituir los mitos del castigo divino de Sodoma y Gomorra, y sin renunciar a corregir el tiro, para que nuestra civilización evolucione hacia la sostenibilidad, hemos de utilizar nuestros conocimientos para seguir viviendo dignamente, superando el estado de necesidad, y asumiendo que éste es un mundo modelado por la presencia y la intervención humanas.

El artículo que sigue pretende explicar, justamente, un caso de adaptación a los efectos del cambio climático, en un entorno en el que la actuación antrópica, ya ha alterado toda la dinámica de fenómenos naturales, y a pesar de ello, o en algún caso gracias a ello, el medio tiene un alto valor ambiental.

El contexto físico es el Delta del Ebro, que por su propia condición deltaica es de los lugares más sensibles de nuestro país a la subida del nivel medio del nivel de mar, provocada por el sostenido aumento de las temperaturas. La intervención humana, mediante el cultivo masivo del arroz, ha transformado un ecosistema fundamentalmente halófilo (salino), en otro de agua dulce con contornos halófilos. Por otro lado, la red de embalses de la cuenca del Ebro ha condicionado el desarrollo físico del delta, que en la actualidad ha detenido su proceso de crecimiento y está sometido a un permanente reequilibrio dinámico, que propicia zonas de erosión y de acresión.

Escuché en una ocasión a un profeta de la no acción decir que era tan hermoso ver cómo se formaba un delta que ver cómo desaparecía. Les aseguro que los habitantes, humanos, del Delta del Ebro –podría asegurar que los de cualquier delta–, no están de acuerdo.

Antecedentes

La ordenación urbanística del frente marítimo del municipio de Deltebre se concentra en el territorio más cercano a la desembocadura del río Ebro, en los terrenos conocidos como Riumar, que fueron objeto de crecimiento en la segunda mitad de los años sesenta.

El núcleo de Riumar, dada su proximidad al mar, puede sufrir un anegamiento por lámina de agua, determinado por la combinación de lluvias intensas y persistentes con temporal marítimo de levante que pueden evitar el normal desagüe de canales.

Este riesgo hasta ahora no ha ocasionado problemas importantes en la urbanización existente.

El caudal del Ebro presenta en los últimos años una disminución atribuida directamente a la construcción de embalses, que retienen los sedimentos, lo que se ha traducido en un descenso de las aportaciones lo que ocasiona dos dinámicas degenerativas como son la erosión, regresión y redistribución del frente deltaico y la subsidencia o hundimiento de la llanura deltaica. Este fenómeno se puede ver agravado por la subida del nivel del mar como consecuencia del progresivo deshielo de los casquetes polares fruto del cambio climático.

Partimos, pues, de la premisa de que el Delta del Ebro se verá afectado por la acción del cambio climático. La modificación de las dinámicas actuantes, esto es, nivel del mar y oleaje, provocará cambios en el régimen de inundación y en la tasa de erosión litoral en el Sector IV-I. Es por ello que se establece la necesidad de determinar la cota de inundación y la posición de la línea de orilla dentro de 50 años, año 2060. Así se han desarrollado sendos estudios en colaboración con las universidades de Cantabria (IH Cantabria, Raul Medina) y Politécnica de Catalunya (UPC, José Jiménez), a partir de los cuales se han concretado los riesgos reales de una potencial urbanización en el espacio y en el tiempo, y la estrategia para su viabilidad, y donde pueden contrastarse los datos fundamentales aportados en este artículo.

Vulnerabilidad y estrategia defensiva

En esencia, la playa en la zona objeto de estudio puede caracterizarse funcionalmente como una obra natural de protección

costera en la que el *hinterland* (y todos los usos y recursos que soporte) está protegido de la acción directa del oleaje gracias a su presencia. Así, habrá una configuración óptima de la playa, básicamente definida en términos de ancho y elevación, que será capaz de disipar la energía del oleaje durante los temporales característicos de la zona manteniendo el trasdós a salvo de la acción de dichas acciones. Un retroceso de la línea de costa en la zona supondría una disminución en el ancho de la playa que protege el *hinterland* y tendería a incrementar la vulnerabilidad del área sin necesidad de considerar un aumento en las condiciones del oleaje incidente. Es decir, la evolución de la vulnerabilidad de la zona en el tiempo dependerá del comportamiento de la línea de costa.

En la costa del Delta del Ebro, los mayores impactos en la costa se producen bajo el impacto de temporales en los que coexisten olas de gran altura y un nivel de mar elevado por causas meteorológicas (Jiménez et al., 1997). Aunque la totalidad de la línea de costa está sometida a la acción de estos temporales, existen zonas localizadas que se muestran especialmente vulnerables. A lo largo del hemidelta norte, la playa de la Marquesa es una zona especialmente sensible y las zonas más susceptibles de sufrir daños son aquellas relativamente estrechas en la que el *hinterland*, aquí ocupado esencialmente por campos de arroz, está muy cerca de la línea de orilla determinando la existencia de un ancho de playa emergida relativamente estrecho como para poder disipar eficientemente la energía del oleaje incidente.

El ancho de playa necesario para proteger adecuadamente el *hinterland* depende básicamente del clima de oleaje de la zona o, más concretamente, de la tormenta que impacte la playa en un instante dado. Así, a medida que aumente la intensidad de ésta, mayor será el ancho de playa requerido. Actualmente, este efecto de variación del grado de protección en función del ancho de playa emergida puede detectarse a lo largo del hemidelta norte, ya que la proximidad de los campos de arroz en la zona es variable (figura 1), traduciéndose esta variabilidad en una exposición y afectación variable del *hinterland* a lo largo de la costa.

De toda la zona, el área con los campos de arroz más retirados de la línea de orilla es la única que puede considerarse razonablemente protegida para el clima marítimo en las condiciones actuales. Esta zona tiene un ancho de playa ligeramente superior a los 100 m de ancho en la actualidad, aunque formalmente el ancho necesario varía en función de la tormenta para la cual se quiere “estar seguro”.



Fig. 1. Variabilidad del ancho de playa emergida a lo largo del hemidelta norte y ejemplo del impacto de tormentas en la playa de la Marquesa (temporal de noviembre de 2001) en las áreas más estrechas

Una idea del ancho de playa óptimo puede obtenerse también a partir de lo que se conoce como el “ancho de playa activa”. Este ancho sería la parte de la costa emergida activa bajo la influencia del clima marítimo de la zona a una escala de tiempo dada. En la costa del delta puede caracterizarse a partir del análisis de la evolución de las franjas de playa barrera que, aunque sometidas a grandes tasas de regresión, son capaces de reconstruirse y mantenerse estables a lo largo del tiempo. En la costa del delta, éstas se encuentran a lo largo de la Illa de Buda –en la zona de Cap Tortosa– y la playa del Trabucador, las cuales aun estando sometidas a grandes tasas de regresión durante las últimas décadas mantienen la playa, ya que ésta ha sido reconstruida por la acción del oleaje. A partir de los datos existentes en ambas zonas, se ha estimado que el ancho de playa activa que puede reconstruirse por acción del clima marítimo de la zona, X_{act} , es del orden de 125-150 m.

Además del ancho de playa emergida, la protección del *hinterland* durante la acción de temporales estará también modulada por una variable adicional, la altura de la playa. Ésta viene determinada, en ausencia de elementos morfológicos singulares, por la altura del cordón de dunas que pudiera existir en la parte trasera de la playa. Aunque a lo largo de la costa del hemidelta norte y en gran parte del delta no hay dunas significativas, la playa de Riumar se caracteriza por la presencia de un sistema dunar bien desarrollado sobre todo en el extremo situado más al sur. En esta zona, la orientación NW-SE de la

costa, que coincide con la dirección del Mestral, hace que exista un corredor con arena disponible en la dirección del viento dominante que posibilita la llegada de arena desde la parte norte de la playa. Ésta queda depositada en el extremo sur donde forma un cordón de dunas que va elevando la altura del perfil de playa y, en consecuencia, ayudando a proteger el *hinterland* en la zona del impacto de los temporales. Este efecto del transporte eólico sobre la morfología de la playa era visible antes de la ocupación de la zona, ya que el área siempre ha estado caracterizada de forma natural por la presencia de estructuras dunares (ver figura 2). A todos los efectos, la zona funciona como un sistema de transferencia de sedimento donde el material es transportado a lo largo de la costa por el transporte longitudinal neto inducido por el oleaje hacia la punta del Fangar y donde parte de éste vuelve a la zona de la desembocadura debido al transporte eólico inducido por la acción del Mestral. El resultado neto del balance sedimentario es negativo dado que la línea de orilla retrocede, aunque localmente se produce una acumulación de material en la parte trasera de la playa en el área más próxima a la desembocadura.

El principal condicionante para la construcción de dunas en la zona es la disponibilidad sedimentaria que, en este caso, viene determinada por la existencia de una playa lo suficientemente ancha y sin obstáculos como para que la acción del viento sobre ella sea eficiente. En la actualidad, la configuración en planta de la playa a lo largo del hemidelta norte presenta un

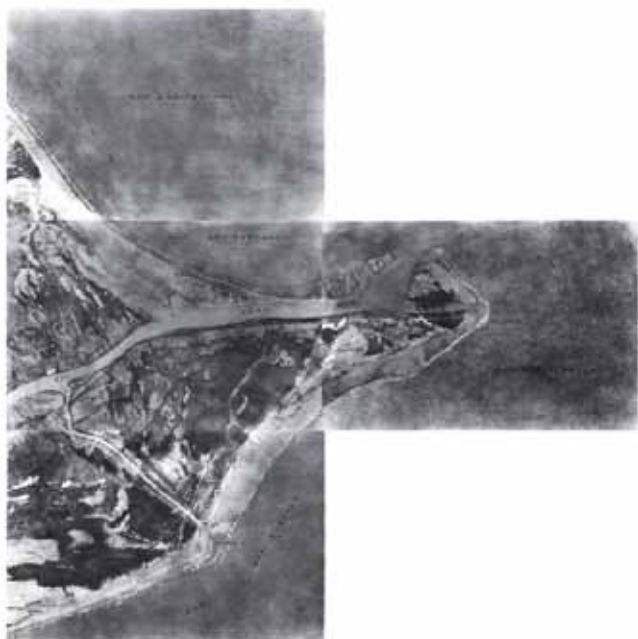


Fig. 2. Configuración de la playa de Riumar en 1927
(Confederación Hidrográfica del Ebro)

ancho variable, existiendo diferentes zonas donde ésta se hace muy estrecha (figura 1) limitando la cantidad de sedimento susceptible de ser movilizada por la acción del viento. Recientemente, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha realizado un proyecto en la zona en la que se recupera una franja de unos 500 m de ancho a lo largo de la costa del hemidelta norte. En esta franja se promoverá la recuperación natural de la playa con lo que se recuperará un ancho más uniforme a lo largo de todo el tramo y que será próximo al ancho activo antes mencionado. En la figura 3 puede verse cómo la playa se va regenerando en las zonas actualmente más estrechas una vez se eliminan los obstáculos en la parte trasera y se le deja evolucionar libremente. Bajo este nuevo escenario, es de prever que la influencia de la dinámica eólica en la playa de Riumar se mantenga e incluso mejore al aumentar el ancho de playa sobre la que actuaría el viento.

En resumen, las variables que controlan la vulnerabilidad del hinterland en la playa de Riumar son la anchura y la elevación de la playa. En términos de anchura, cuanto más ancha sea la playa mayor protección tendrá el hinterland frente a la acción de los temporales. En cuanto a la elevación, cuanto mayor sea la cota de la playa menor será la probabilidad de inundación y, al mismo tiempo, habría un mayor volumen de



Fig. 3. Estado actual de la playa de la Marquesa tras permitir su renaturalización y libre evolución costera

sedimento disponible para “resistir” a la acción del temporal. En consecuencia, la evolución de la vulnerabilidad de la zona dependerá de cómo evolucione la playa.

En base a la evolución costera observada y prevista en el área de estudio, la vulnerabilidad de la zona tiende a aumentar con el tiempo dado que la zona está sometida a un proceso de regresión en el que la línea de orilla retrocede y, por lo tanto, el ancho de playa disminuye. Si este proceso se mantiene y no se toma ninguna medida adicional, la zona trasera estará cada vez más expuesta a la acción de los temporales sin necesidad de considerar ningún efecto climático.

Por ello, a efectos de gestión de la vulnerabilidad de la costa se propone mantener el ancho efectivo de la playa y promover un aumento en la elevación de la playa en las zonas más erosivas frente a la zona de la urbanización (zonas II y III).

Medidas de gestión de la vulnerabilidad de la zona

A continuación se presentan las medidas recomendadas para gestionar la vulnerabilidad costera en la zona de la playa de Riumar. En este sentido, hay que tener en cuenta que estas medidas disminuirán la vulnerabilidad futura de la zona en comparación con la que ocurriría en condiciones naturales (si no se actuase) dado que, en la actualidad, la vulnerabilidad se va incrementando en el tiempo al ir retrocediendo la línea de orilla.

En primer lugar, hay que considerar que las medidas a proponer han de ser compatibles con el valor natural de la zona, de tal forma que la no se puede proponer una medida de actuación que degrade el valor ambiental de la zona ni que

afecte la dinámica de la zona adyacente. Es decir la medida a proponer debe ser compatible e integrable con cualquier alternativa de actuación en la costa del delta.

La medida considerada como más efectiva para gestionar la vulnerabilidad de la zona sin afectar la dinámica natural del área consiste en el mantenimiento del ancho de playa a lo largo de la zona urbanizada. Para ello se propone aportar una cantidad de sedimento equivalente a la erosionada cada año.

Teniendo en cuenta los valores de la evolución costera calculados para la zona (tabla 1) y las dimensiones del perfil activo a escala anual (altura de la berma y profundidad activa), la cantidad mínima requerida para mantener la línea de costa en la posición actual y así, disminuir la vulnerabilidad costera futura en la zona, vendría dada por la cantidad erosionada anualmente: 15.000 m³/año.

Dado que se ha observado una aceleración en las tasas de erosión a lo largo del tramo situado más próximo a la desembocadura y, ya que se ha previsto un posible cambio en el comportamiento evolutivo del área, se ha estimado el efecto que podría tener dicho cambio en el volumen de sedimento necesario. Para ello se ha asumido que en la zona de control las tasas de erosión alcanzarán un valor uniforme dado por el valor máximo del tramo en las condiciones actuales (en su extremo norte), con lo que el volumen máximo potencialmente requerido sería 29.400 m³/año.

Con el fin de poder ajustar anualmente la cantidad necesaria en función de las variaciones en el material erosionado bien sea debido a la variabilidad natural (variación en la intensidad de la dinámica de la zona debido a los cambios en el clima de oleaje incidente) o por un cambio sistemático en las condiciones evolutivas (por el efecto antes cuantificado de aceleración de las tasas o debido al RSLR), se propone hacer un seguimiento de la evolución de la zona que permita actualizar las tasas de evolución y determinar en cada momento la cantidad necesaria a aportar anualmente para compensar el retroceso de la línea de orilla y mantener el grado de vulnerabilidad actual. Para ello se propone hacer un seguimiento del ancho de playa en la zona mediante una toma de perfiles de playa cada 150 m a lo largo de la zona II (perfiles 11 a 18 en la figura 5). En dichos perfiles se determinará, por un lado, el ancho de playa emergido y, por otro, la topografía del terreno. La primera de las variables servirá para conocer el ancho de playa en cada momento y al comparar con datos previos, la evolución del comportamiento costero en el tiempo. La segunda variable (topografía) permitirá

Zona	Ptos de control	LR ₈₉₋₁₀ (m/a)	ΔX ₂₀₅₀ (m)	LR ₉₅₋₁₀ (m/a)	ΔX ₂₀₅₀ (m)
I	1	-4.2	-168	-4.2	-168
	2	-4.2	-168	-4.2	-168
	3	-3.7	-148	-3.7	-148
	4	-4.4	-176	-4.4	-176
	5	-4.1	-164	-4.1	-164
	6	-4.2	-168	-4.2	-168
	7	-4.7	-188	-4.7	-188
	8	-4.2	-168	-4.2	-168
	9	-3.6	-144	-3.6	-144
	10	-3.8	-152	-3.8	-152
	11	-4.0	-160	-4.0	-160
II	12	-3.5	-140	-3.5	-140
	13	-2.8	-112	-2.4	-96
	14	-2.2	-88	-2.0	-80
	15	-1.4	-56	-1.4	-56
	16	-1.1	-44	-0.5	-20
	17	-0.1	-4	0.4	16
III	18	0.8	32	1.1	44
	19	1.3	52	1.0	40
	20	1.3	52	0.7	28
	21	0.6	24	-0.6	-24
IV	22	0.4	16	-1.5	-60
	23	-0.4	-16	-2.5	-100
	24	-1.6	-64	-3.4	-136
	25	-2.9	-116	-3.6	-144

Tabla 1. Tasas de evolución de la línea de orilla a largo plazo (LR) y predicción para el año 2050 del desplazamiento con respecto a la posición actual (ΔX) a lo largo de la zona de estudio (ver localización en figura 4). (LR₈₉₋₁₀: regresión lineal entre 1989 y 2010; LR₉₅₋₁₀: regresión lineal entre 1995 y 2010). La parte sombreada indica las zonas donde se produce un cambio evolutivo incrementándose la tendencia erosiva en la época más reciente



Fig. 4. Zonificación del área de estudio y perfiles de control

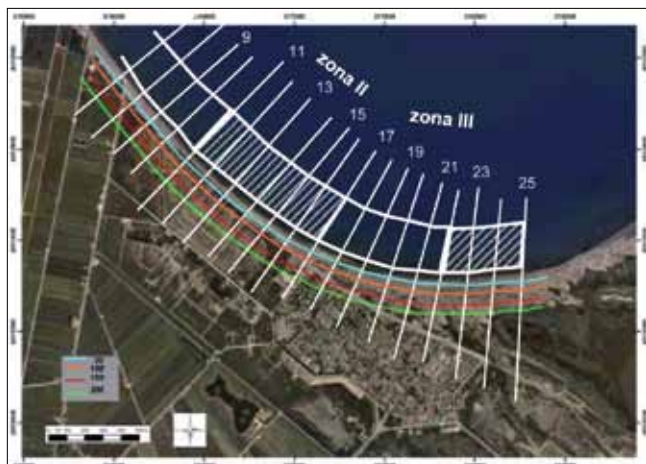


Fig. 5. Zonificación del área de estudio, perfiles de control y líneas *buffer*

estimar el volumen de sedimento disponible en playa seca así como la evolución de la cota de la playa, así como para evaluar la efectividad del transporte eólico para reconstruir la zona. Dichos perfiles se tomarían como mínimo una vez al año siendo la época ideal para la toma de datos el final del verano, dado que servirían para caracterizar la playa al inicio de la época de acción de los temporales.

A partir de estas medidas se podría establecer un criterio de intervención en la playa en función de la excedencia o no de un valor umbral. Así se propone que la actuación base quede definida por una aportación media anual de $15.000 \text{ m}^3/\text{año}$. En el caso de que se presente un año (o grupo de ellos) especialmente erosivo, en el que la tasa de retroceso medio a lo largo de la zona exceda la tasa media estimada de $1,8 \text{ m/a}$, se corregirá la cantidad a aportar proporcionalmente a dicho exceso de erosión de tal forma que se compensen las pérdidas anuales registradas.

Adicionalmente a este umbral dinámico establecido en base a la tasa de evolución de la zona se propone uno “estático” basado en el ancho de playa existente en un instante dado. En primer lugar, se recomienda que en la zona objeto de interés no se construya ninguna instalación fija relacionada con la urbanización del lugar a una distancia inferior a 150 m de la línea de costa actual. Este valor fue identificado anteriormente como el ancho de playa activa a largo plazo en la zona en ausencia de obstáculos y el objetivo sería preservar este ancho para permitir la acomodación de la playa a un posible RSLR. El preservar inicialmente este ancho desde la parte interna (evitando la construcción de obstáculos longitudinales en tierra cercanos a la

orilla) y el contrarrestar la erosión del borde exterior mediante las aportaciones periódicas permitirá mantener el ancho de la zona en una magnitud suficiente que proteja el hinterland ante eventos de tormentas característicos de la zona.

Por último, para reducir aún más la vulnerabilidad de la zona, se propone aumentar la cota de la playa y la disponibilidad de material sedimentario en la trasplaya que actúe como reservorio de arena para compensar el efecto del impacto de temporales. Para ello se propone fomentar la formación de dunas a lo largo del tramo de costa situado entre los sectores II y III, frente a la parte urbanizada de la playa de Riumar, mediante la instalación de diferentes barreras de cortavientos en la playa que actúen sobre el sedimento transportado por el Mestral hacia el sur. Estas barreras se aprovecharían del efecto generado al ganar ancho de playa seca a lo largo de la Marquesa, al norte del área de interés, que tendería a favorecer el transporte eólico hacia esta zona.

En la figura 6 se resume de forma gráfica la problemática existente y las consecuencias de la solución propuesta. La zona está sometida a un clima de oleaje que durante la acción de los temporales inducirá en el tramo de interés un retroceso y una inundación proporcional a la magnitud del temporal (la cual puede asociarse a un determinado período de retorno). Esta respuesta (retroceso e inundación) la denominamos *hazard* y podemos asumir un escenario climático en el que este clima de tormentas sea estacionario (es decir que las olas no se vean afectadas). La playa en la zona de interés tiene un determinado ancho inicial (el actual) que, debido a la evolución prevista (incluyendo cambio de comportamiento), irá disminuyendo a lo largo del tiempo. Esta disminución en el ancho de la playa implicará una reducción de su capacidad para disipar la energía del oleaje durante tormentas. Cuando el ancho de playa sea inferior al valor umbral requerido para que proteja la zona (para un temporal de determinadas características) su nivel de exposición se irá incrementando de forma progresiva. La combinación de un *hazard* constante y un nivel de exposición creciente tendrá como consecuencia un incremento de la vulnerabilidad en el tiempo, es decir, si no se actúa en la zona, la susceptibilidad a sufrir daños aumentará en el tiempo.

Con la actuación propuesta se modifica la situación final de la siguiente forma. El *hazard* sigue teniendo la misma intensidad dado que no se modifica el clima de oleaje incidente y la magnitud de la respuesta (retroceso e inundación) será la misma. Dado que la actuación propuesta consiste en alimentar la playa para compensar las pérdidas de sedimento que se producen,

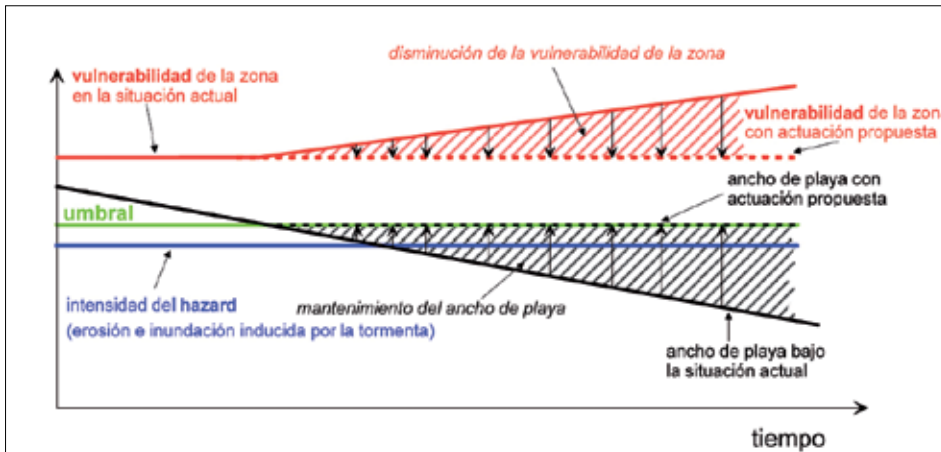


Fig. 6. Relación entre la evolución de la zona, hazard y vulnerabilidad en la situación actual y tras la actuación propuesta

se evitará el retroceso existente y, en consecuencia, el ancho de la playa se mantendrá en los valores actuales. Esto implica mantener la capacidad para disipar la energía del oleaje durante tormentas y, como resultado, el nivel de exposición de la playa. La combinación en este caso de un *hazard* y un nivel de exposición constantes tendrá como consecuencia un nivel de vulnerabilidad constante en la zona, mejorando la situación con respecto al escenario actual (sin mantenimiento de la playa).

Medidas complementarias para la reducción de la vulnerabilidad de la zona

Con el plan propuesto de aportación anual de arena y control sistemático de la evolución de los perfiles de playa se consigue una reducción de la mayor componente del riesgo de inundación de la zona, que es la erosión de la línea de playa, y la entrada directa del agua del mar a la zona de estudio.

El resto de los riesgos en la zona asociados a la inundabilidad, provienen mayoritariamente de la inundación potencial por subida del nivel del mar a través de la Bahía del Fangar, debido a la ausencia de oleaje y de playa asociada. En menor medida también contribuye la posibilidad de inundación directa de la zona en el caso en que la playa de Pals desapareciera y, en consecuencia, el mar pudiera ingresar en la zona inundando la zona de Riumar a través de su zona trasera. Estas dos componentes del riesgo de inundación de la zona son mucho menores que la contemplada en este estudio y su ocurrencia se dilataría en el tiempo mucho más allá del horizonte de este estudio dado que están asociadas a una subida del nivel del mar.

Esta situación se verificaría en el supuesto de que las condiciones de contorno sobre los efectos del cambio climático en el Delta del Ebro no cambiaran. Sin embargo, el Ministerio de Medio Ambiente, a través de Acuamed y de la Dirección General del Medio Marino (Costas), han redactado, y en algún caso ejecutado, proyectos para mejorar sustantivamente esas condiciones, y reducir y/o limitar aun más los riesgos asociados.

Así, en el área del Fangar se ha proyectado una zona *buffer* de un mínimo de 100 metros de ancho que mediante diversas actuaciones, que incluyen lagunaje con carrizo, y sus correspondientes elementos de contención; camino y canal de circunvalación interior, y elementos mecánicos para evitar que en caso de subida del nivel del mar, la inundación se propagara hacia el interior a través de los propios canales y desagües. Este conjunto de actuaciones impedirá, cuando estén operativas, la inundación del delta a través del Fangar por un aumento súbito del nivel del mar, y más aún, si la inundación es lenta y progresiva, sentando las pautas de una estrategia defensiva sostenible de las tierras emergidas del Delta del Ebro.

Por otra parte, a través de la Dirección General de Medio Marino, se ha proyectado en el tramo de litoral entre Riumar y la Marquesa, otra zona *buffer* de 500 metros de ancho, donde se deja evolucionar libremente la playa para que alcance su máximo potencial defensivo. La actuación se complementa con zonas húmedas en el trasdós de la playa que permitirá el movimiento de la arena según sus necesidades. El conjunto se cierra mediante un camino perimetral, que va desde Riumar hasta la playa de la Marquesa. Esta actuación, cuando esté implementada, reducirá significativamente los efectos de la erosión en ese tramo de costa, ya que permitirá la reconstrucción de la playa en su zona interior al eliminar los obstáculos que determinarían la desaparición de la playa. Esta reducción será todavía mayor si se complementa con la aportación de arena propuesta en este estudio para la zona de Riumar. Adicionalmente, y como efecto más global, esta solución evita la inundación súbita del interior del hemidelta izquierdo en su parte más septentrional, permitiendo una respuesta eficiente y sostenible a cada uno de los sucesivos escenarios que se den en el espacio y en el tiempo. Hasta la fecha, además de los documentos técnicos, se ha ejecutado la compra de la finca "Bombita", fundamental por varios motivos para el desarrollo de la estrategia planteada. **ROP**

Referencias

- Anders, F.J. y Byrnes, M.R. 1991. Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach*, 59, 1, 17-26.
- Birkemeier, W.A. 1985. Field data on seaward limit of profile change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 111(3), 598-602.
- Bou, J. 1994. Uso de la fotogrametría en los estudios de morfología costera. Aplicación al Delta del Ebro. Tesina de Especialidad, DEHMA, ETSECCPB, UPC.
- Bruun, P. 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *J Waterway Div-ASCE*, 88 (1-3), 117-130.
- Bruun, P. 1988. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: A discussion on large scale two-and three dimensional usages. *Journal of Coastal Research*, 4, 627-648.
- Crowell, M., Leatherman, S.P. y Buckley, M.K. 1991. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7, 839-852.
- Crowell, M., Douglas, B.C. y Leatherman, S.P. 1997. On forecasting future US shoreline positions: A test of algorithms. *Journal of Coastal Research*, 13, 1245- 1255.
- Dolan, R., Fenster, M.S. y Holme, S.J. 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7, 723-744.
- Europrincipia. 2010. Proyecto de mejora y adecuación ambiental de las playas del hemidelta izquierdo entre Riumar y el Fangar, en el Delta del Ebro y plan de gestión de los espacios afectados (Tarragona). Campaña topo-batimétrica y toma de muestras.
- Fenster, M.S., Dolan, R. y Elder, J.F. 1993. A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, 9, 147-151.
- Generalitat de Catalunya. 2004. Programa de actuaciones urgentes en las zonas costeras del Delta del Ebro afectadas por los temporales. Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya.
- Gracia, V., Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 2005. Nearshore profiles along the Ebro Delta. Implications for coastal processes. *MEDCOAST'95*, 1131-1143.
- Gracia, V., Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 1997. Temporal and spatial variability of the depth of closure in the Ebro Delta coast. PACE- Prediction of Aggregated Coastal Evolution, 1st Overall Meeting, Extended Abstracts, 1.4.
- Hallermeier, R.J. 1981. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering*, 4, 253-277.
- Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 1993. Medium-Term Coastal Response at the Ebro Delta, Spain. *Marine Geology*, 114, 105-118.
- Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 1997. Physical impacts of climatic change on deltaic coastal systems (II): driving terms. *Climatic Change*, 35 (1), 95-118.
- Jiménez J.A., Sánchez-Arcilla, A. y Valdemoro, H.I. 2005. Effects of storm impacts in the Ebro Delta coast. *Floodsite Report T26-05-10*.
- Jiménez, J.A., Sánchez-Arcilla, A., Bou, J. y Ortiz, M.A. 1997. Analysing short-term shoreline changes along the Ebro Delta (Spain) using aerial photographs. *Journal of Coastal Research*, 13, 1256-1266.
- Jiménez, J.A., Sánchez-Arcilla, A., Valdemoro, H.I., Gracia, V. y Nieto, F. 1997. Processes reshaping the Ebro Delta. *Marine Geology*, 144, 59-79.
- Jiménez, J.A., Valdemoro, H.I., Bosom, E. y Gracia, V. 2011. Storm-induced coastal hazards in the Ebro Delta (NW Mediterranean). *Coastal Sediments 2011*, World Scientific, 1332-1345.
- Sánchez-Arcilla, A., Jiménez J.A. y Valdemoro H.I. 1998. The Ebro Delta: morphodynamics and vulnerability. *J Coast Res*, 14, 754-772.
- Sánchez-Arcilla A., Jiménez J.A., Valdemoro H.I. y Gracia V. 2008. Implications of climatic change on Spanish Mediterranean low-lying coasts: The Ebro Delta case. *J Coast Res*, 24, 306-316.
- Somoza L., A. Barnolas, A. Arasa, A. Maestro, J.G. Rees y Hernández-Molina, F.J. 1998. Architectural stacking patterns of the Ebro Delta controlled by Holocene high-frequency eustatic fluctuations delta-lobe switching and subsidence processes. *Sedimentary Geology*, 117, 11-32.
- Thieler, E.R. y Danforth, W.W. 1994. Historical shoreline mapping (I): Improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, 10, 549- 563.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., y Miller, T.L. 2005. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0; An ArcGIS© extension for calculating shoreline change. U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1304.
- Valdemoro, H.I., Sánchez-Arcilla, A. y Jiménez, J.A. 2007. Coastal dynamics and wetlands stability. The Ebro Delta case. *Hydrobiologia*, 577, 17-29.