

## ANEJO Nº4: DINÁMICA LITORAL



## **ÍNDICE**

1.	INTRODUCCIÓN .....	94
2.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ACTUACIÓN .....	94
3.	RÉGIMEN DE OLAJE Y VIENTO .....	94
4.	RÉGIMEN DE MAREAS.....	96
4.1	Marea .....	97
4.2	Cota de inundación .....	97
4.3	Resumen.....	97
5.	UNIDAD MORFODINÁMICAS.....	98
6.	EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA.....	99
7.	CONCLUSIONES .....	100



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene el objetivo de identificar el patrón de transporte y explicar la dinámica de la playa, siendo una continuación del *Anejo nº2: Climatología*, ya que en el mismo se realiza un estudio exhaustivo del oleaje y de los vientos, añadiendo en este anejo el régimen de mareas.

El conocimiento de la dinámica litoral y sedimentaria existente como consecuencia de la intervención en la costa, constituye un elemento de estudio fundamental para efectuar el diagnóstico de la situación actual y un adecuado diseño de la actuación.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ACTUACIÓN

Las obras de ampliación del Puerto de Castellón iniciadas en los años 40 con la ejecución del dique de abrigo y la progresiva rigidización de la costa de Benicasim en las dos últimas décadas, han tenido como claras consecuencias en el sistema litoral el crecimiento continuo de una gran playa apoyada al norte del puerto y la drástica disminución de aportes en el tramo litoral de Almazora, con erosiones concentradas inicialmente en el primer tramo, inmediatamente al sur del Puerto de Castellón, que se han ido trasladando progresivamente hacia al sur.

Prácticamente toda la costa de Castellón se caracteriza por un transporte litoral dirigido en sentido norte-sur; es por ello que la progresiva ampliación del Puerto de Castellón ha ido provocando una gran acumulación de sedimentos al norte y una profunda erosión de la costa al sur.

La tasa de transporte de sedimentos que proviene de las playas de Benicasim ha sufrido un descenso en los últimos años, debido a la profusión de obras de defensa surgidas en su costa en las dos últimas décadas. Este descenso de aportes ha tenido como primera manifestación un retroceso y un cierto cambio de alineación del tramo de playa situado entre las golas de La Plana y Entrilles, de la desembocadura del río Mijares.

Por su parte, el Puerto de Castellón ha constituido una barrera casi total al paso de sedimentos por su frente desde la construcción del dique de defensa en los años 40. Con la línea de playa sensiblemente retrasada con respecto a su posición actual, los sedimentos que sobrepasaban el dique se depositaban en su entorno exterior, de forma que hasta la costa sur llegaba la fracción más fina del transporte, y en cantidades muy reducidas.

Según se desprende de los trabajos consultados en relación al cálculo del transporte litoral en este sector, el paso de sedimentos desde el Puerto de Castellón hacia las playas de Almazora, y desde éstas hacia el sur, es, en la actualidad, muy reducido, con un volumen máximo estimado de unos 10.000 m<sup>3</sup>/año, y que se compone básicamente de fracciones muy finas.

Por otro lado, las aportaciones del río Mijares son, en la actualidad, muy reducidas y esporádicas, y se componen fundamentalmente de fracciones gruesas, que permanecen en el entorno de su desembocadura, dado que su movilidad es reducida.

## 3. RÉGIMEN DE OLAJE Y VIENTO

El clima de oleaje de la zona como principal agente actuante en el sistema litoral se aborda en el *Anejo nº2: Climatología*. Desde el punto de vista direccional, los oleajes se distribuyen principalmente en torno a las direcciones NE a SSE, que contienen casi el 80% del total del registro, y están asociados a las principales zonas de generación del oleaje, incidentes en la costa de Almazora.

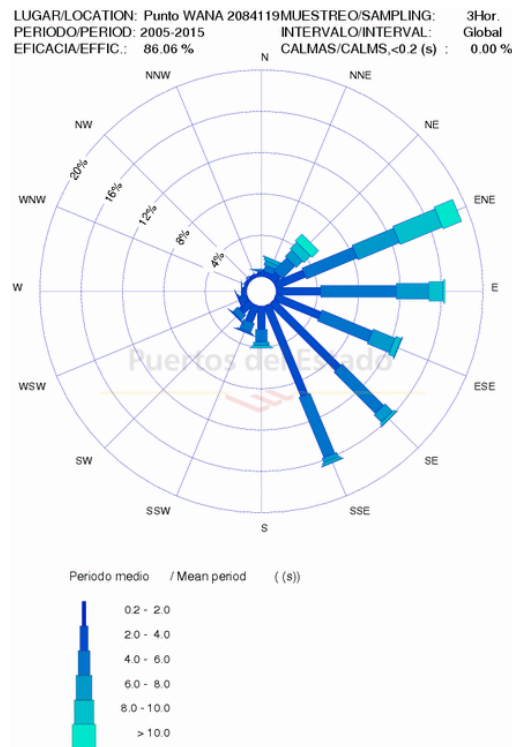


Figura: Rosa del oleaje. Punto WANA 2084119.

EFICACIA 98.2% AÑO/YEAR 2014		Hs (m)											TOTAL
		<= 0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	
calmas/calms		8.400											8.400
Dir	N	00	0.192	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.415
	NNE	22	0.830	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.341
	NE	45	2.746	0.639	0.096	---	---	---	---	---	---	---	3.480
	ENE	67	7.535	4.246	0.479	0.032	---	---	---	---	---	---	12.292
	E	90	13.441	2.618	0.255	0.128	---	---	---	---	---	---	16.443
	ESE	112	11.494	2.011	0.160	---	---	---	---	---	---	---	13.665
	SE	135	13.857	2.139	0.128	---	---	---	---	---	---	---	16.123
	SSE	157	11.909	3.384	0.351	---	---	---	---	---	---	---	15.644
	S	180	3.704	1.277	0.064	---	---	---	---	---	---	---	5.045
	SSW	202	3.352	1.213	---	---	---	---	---	---	---	---	4.566
	SW	225	1.309	0.128	---	---	---	---	---	---	---	---	1.437
	WSW	247	0.319	0.032	---	---	---	---	---	---	---	---	0.351
	W	270	0.255	0.096	---	---	---	---	---	---	---	---	0.351
	WNW	292	0.032	0.128	---	---	---	---	---	---	---	---	0.160
	NW	315	0.128	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.128
	NNW	337	0.160	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.160
TOTAL		71.262+ 8.400	18.646	1.533	0.160	---	---	---	---	---	---	---	100%

Figura: Tabla de encuentros Hs-Dirección.

Los oleajes procedentes del E y SE se presentan con mayor frecuencia. Para un periodo de retorno dado, los temporales de componente norte, con mayores alturas de ola, resultan un poco más energéticos que los temporales de componente sur, por lo que producen potencialmente mayores efectos erosivos sobre la playa.

Sin embargo, dada la orientación de la playa resultan de especial interés los temporales de levante, que aunque son menos frecuentes y, generalmente, menos energéticos, pueden provocar mayores daños a la playa.

El régimen de vientos en la zona de estudio muestra un predominio de los procedentes del NE; mientras que los más intensos o dominantes son de componente NNW.

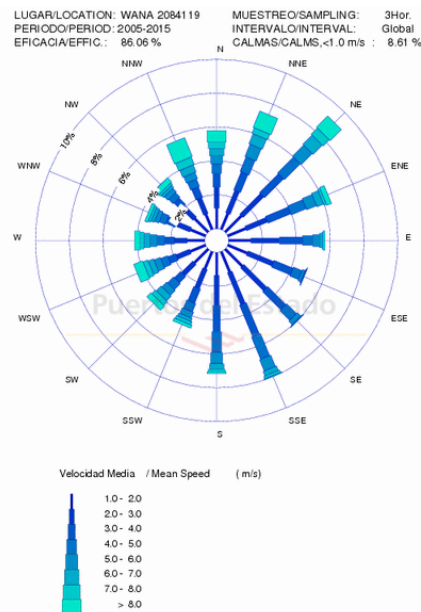


Figura: Rosa de vientos correspondiente a la velocidad media anual del viento. Punto WANA 2084119.

#### 4. RÉGIMEN DE MAREAS

Se establecen los niveles de marea y cota de inundación del proyecto en base a los datos del *ATLAS de Inundación en el Litoral Peninsular Español* desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria.

En dicho Atlas se recogen, para las distintas fachadas de la España peninsular, los regímenes medio y extremal del nivel de marea ( $S_{NM}$  = marea meteorológica + marea astronómica) y de la cota de inundación en playas ( $S_{CI}$  = nivel de marea + run-up del oleaje ( $S_{RU}$ )).

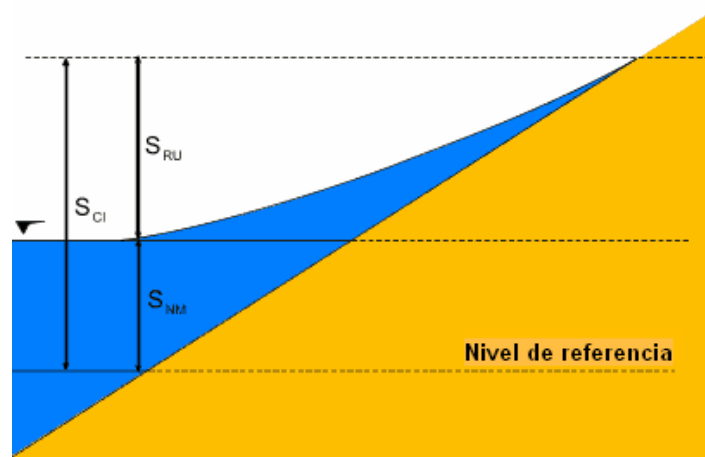


Figura: Se observa la cota de inundación para una playa infinita.

El modelo de simulación asume que la propagación del oleaje que afecta a la playa de estudio puede ser calculado por la ley de Snell (batimetría paralela y rectilínea). Además, el run-up a pie de playa se determina bajo la hipótesis de talud indefinido mediante la formulación de *Nielsen y Hanslow*.

La franja costera objeto del presente proyecto se ubica dentro del Área VII, Subzona A del ATLAS. La información utilizada en la determinación de los regímenes de nivel de mar procede del mareógrafo Valencia perteneciente a la red REDMAR y de la boya de Tarragona de la red REMRO, cuya posición, profundidad de fondeo y periodo de medida se detalla en la tabla siguiente.

MAREA ASTRONÓMICA		OLEAJE	
Mareógrafo	Valencia	Boya	Tarragona
Situación	39° 27' 42" N ; 00° 19' 33" W	Situación	41° 03' 18" ; 01° 12' 36"
Periodo medida	1995-1996	Profundidad	35m
		Periodo medida	1992-1997
MAREA METEOROLÓGICA		OBSERVACIONES VISUALES	
Residuo Nivel del Mar del Mareógrafo de Valencia		Cuadrícula	40.5°N – 42.5°N ; 0°W – 4.5°E
		Periodo de medida	1950-1985

Tabla: Características de los equipos para la determinación del régimen del nivel del mar.

#### 4.1 Marea

Como valores representativos de las medias de pleamares y bajamares para régimen medio en la zona correspondiente al Área VIIA, el nivel de pleamar se encuentra a la cota +0,25 m y el de bajamar a la -0,25 m respecto el NMM, siendo por tanto, la carrera de marea de 0,5 m.

La elevación del nivel del mar,  $S_{NM}$  (nivel de marea meteorológica + nivel de marea astronómica) que se supera 12 horas/año es 0,51 m respecto del NMMA con un rango de marea de 0,74 m.

La elevación del nivel del mar,  $S_{NM}$  (nivel de marea meteorológica + nivel de marea astronómica) asociada a un periodo de retorno de 68 años (como se justifica en el Anejo nº7: *Cálculo de las obras*) es de 0,70 m respecto del NMMA con un rango de marea de 0,93 m.

#### 4.2 Cota de inundación

El cálculo de la cota de inundación (nivel de marea,  $S_{NM}$  + Run-up) en régimen medio tiene su principal aplicación en el dimensionamiento de la playa, en concreto en la fijación de la cota de diseño de la berma.

Los resultados se presentan en términos de número de olas al año que superan una cota dada. Se ha adoptado como valor de ocurrencia representativo del régimen medio el que es superado por 1000 olas al año, que cumple holgadamente las condiciones de operatividad establecidas en el Anejo nº 7: *Cálculo de las obras*, se obtiene una cota de inundación en la playa de +1,26 m, respecto el NMMA.

La cota de inundación,  $S_{CI}$  (nivel de marea + Run-up) asociada al periodo de retorno de 68 años y medida respecto del NMMA es de 2,57 m. La banda de confianza del 90% para el periodo de diseño está limitada por los valores  $2,48 \text{ m} \leq S_{CI, 90\%} \leq 2,67 \text{ m}$ .

#### 4.3 Resumen

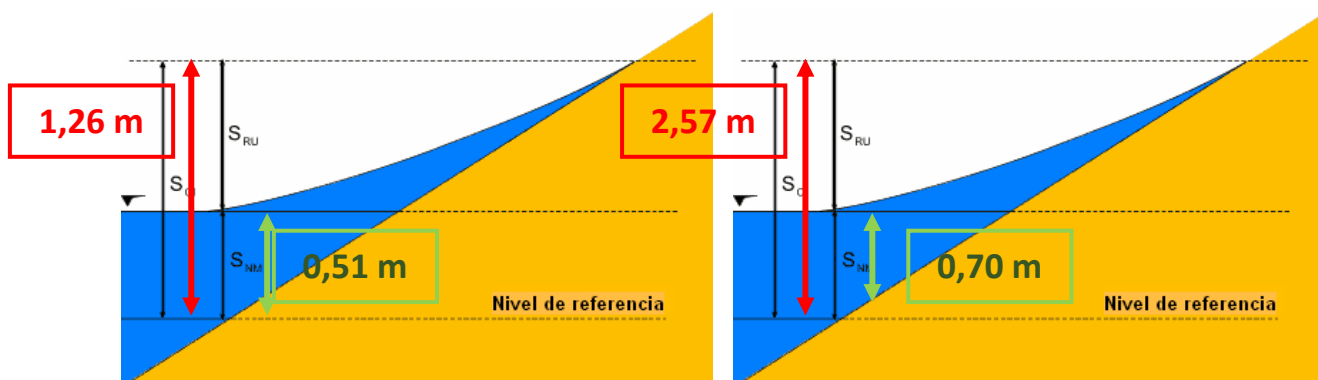


Figura: A la izquierda el régimen medio del nivel de marea y cota de inundación, a la derecha el régimen extremo.



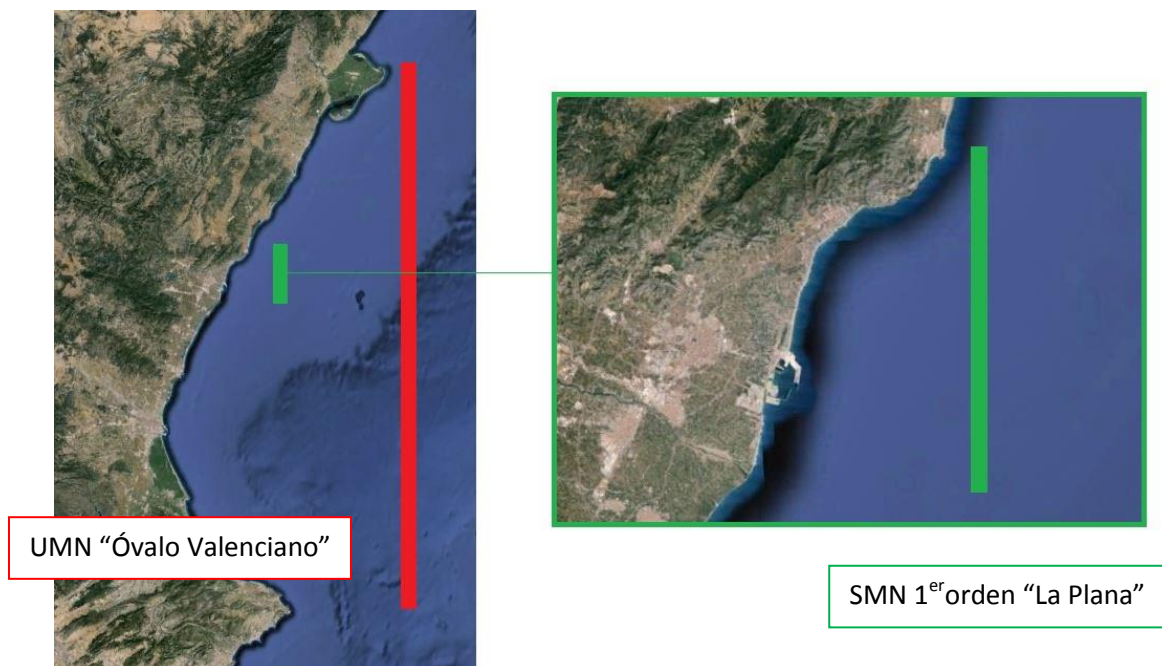
## 5. UNIDAD MORFODINÁMICAS

El método de clasificación por unidades y subunidades morfodinámicas fue desarrollado por Esteban, V. y por Serra, J., entendiéndose como unidad morfodinámica aquel tramo de costa limitado por barreras totales al transporte, es decir, aquel tramo sobre el que cualquier actuación sobre las condiciones de contorno del medio costero puede afectar al equilibrio del mismo a corto, medio o largo plazo. Pudiéndose diferenciar en natural o artificial.

Se define, además, subunidad morfodinámica como aquel tramo de costa limitado por barreras totales o parciales, y pueden ser de primer orden, si las actuaciones sobre las condiciones de contorno del medio costero afectan al equilibrio del mismo a corto o medio plazo, o de segundo orden si dichos efectos son a corto plazo.

La zona costera objeto del presente proyecto se encuentra incluida en la unidad morfodinámica natural (UMN) conocida como “Óvalo Valenciano”, comprendido entre el Delta del Ebro y el Cabo de San Antonio, que constituye la mayor unidad morfodinámica natural del litoral español, con un frente de 276 km, correspondiente a dos Comunidades Autónomas y cuatro provincias.

Dentro de la unidad morfodinámica natural se puede considerar una subunidad morfodinámica natural de primer orden (SMN de 1<sup>er</sup> orden) denominada “La Plana”, que comprende el tramo costero limitado por el Cabo de Oropesa y el Delta del río Mijares, ya que el Delta del Mijares constituye una barrera parcial al transporte sólido litoral, destacando como límite de subunidad por la importancia de sus aportes en la alimentación de las playas situadas a barlomar del mismo.



*Figura: UMN “Óvalo Valenciano” y SMN de 1<sup>er</sup> orden “La Plana”.*

En cuanto a la unidad morfodinámica artificial (UMA), el tramo de estudio se encuentra en la denominada “Valencia”, ya que la misma comprende desde las obras de abrigo del Puerto de Castellón, hasta las obras de abrigo del Puerto de Valencia.

Además, se puede clasificar como una subunidad morfodinámica artificial de 1<sup>er</sup> orden (SMA de 1<sup>er</sup> orden) denominada “Mijares”, que comprende el tramo desde el Puerto de Castellón hasta el Puerto de Burriana; así como una subunidad morfodinámica artificial 2<sup>o</sup> orden (SMA de 2<sup>o</sup> orden) denominada “Almazora”, que es el tramo limitado por el Puerto de Castellón, y el Delta del Río Mijares.

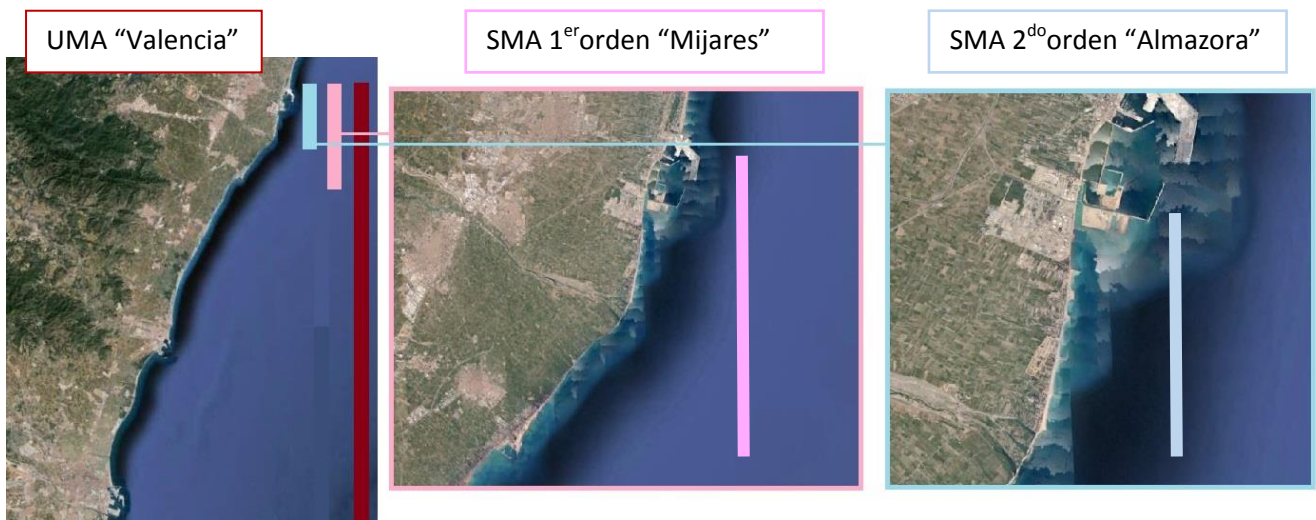


Figura: UMA "Valencia", SMA de 1<sup>er</sup> orden "Mijares" y SMA de 2<sup>o</sup> orden "Almazora".

## 6. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

La figura adjunta presenta la evolución de la línea de costa al sur del puerto de Castellón entre los años 1.947 y 1.965. A partir de esta última fecha, y ante el estado de deterioro de la costa, comenzaron a construirse las obras de defensa y rigidización que, con diversas alteraciones, cubren hoy en día todo el tramo de costa hasta la desembocadura del río Mijares.

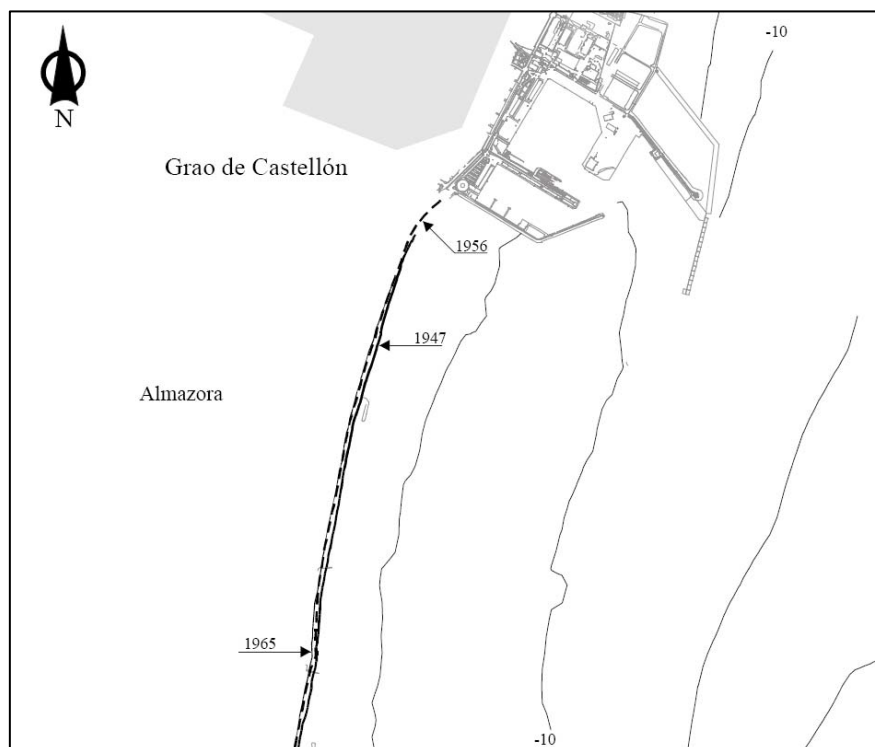


Figura: Se observa la evolución de la línea de costa en el frente litoral de Almazora. Fuente: Estudio ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón.

Durante el periodo 1947-1956 las erosiones se concentran fundamentalmente en el primer tramo de costa, inmediatamente al sur del puerto, aunque el agotamiento de los depósitos de sedimento litorales hace que esta zona evolucione lentamente a partir de esta fecha, trasladándose las mayores erosiones hacia el sur.

En el entorno del Puerto de Castellón, los componentes principales del transporte litoral en esa zona se pueden resumir en los siguientes puntos:

- De los 60-80.000 m<sup>3</sup>/año de sedimento que recibe actualmente la playa de Castellón, una cantidad estimada en 40.000 m<sup>3</sup>/año se acumula en la propia playa, contribuyendo a su crecimiento, mientras que una cantidad máxima de 20-40.000 m<sup>3</sup>/año rebasan su límite sur hacia el exterior del puerto.
- De la cantidad total de sedimento que sale de la playa en dirección sur, un volumen máximo de 20-30.000 m<sup>3</sup>/año se deposita en su zona exterior.
- Los calados actuales frente al dique exterior de abrigo se sitúan en el entorno de los 10-11m; a estas profundidades, el transporte litoral generado por las corrientes y el oleaje local es prácticamente nulo, y únicamente pueden ser transportadas las fracciones de sedimento más finas, que llegan en suspensión desde el norte. Por tanto, la mayor parte del volumen de sedimentos que sale desde la playa hacia el sur acaba depositándose frente al dique de abrigo, y una pequeña parte deriva en suspensión hacia el sur, incorporándose a la corriente litoral general en forma de material remanente de fondo, no apto para la formación de perfiles activos de playa. Este material fino que deriva desde el puerto hacia el sur se estima en un volumen máximo de 10.000 m<sup>3</sup>/año.
- En las playas situadas al sur del puerto, el transporte litoral histórico tenía un valor semejante al calculado para la zona norte (unos 90-100.000 m<sup>3</sup>/año en el periodo 1.947-56). La erosión creciente de los fondos y la fijación del litoral mediante obras de defensa, han suprimido casi todo el transporte litoral de material arenoso, reduciéndose la circulación actual a fracciones muy finas.

Por tanto, la playa de Almazora recibe actualmente una aportación de sedimento muy reducida, de un volumen máximo estimado en unos 10.000 m<sup>3</sup>/año, y que se compone básicamente de fracciones muy finas.

## **7. CONCLUSIONES**

La subunidad morfodinámica artificial 2º orden en la que se localiza el frente litoral se encuentra limitada al norte por el Puerto de Castellón y, al sur, por el delta del río Mijares, dentro de un tramo en el cual el Puerto de Castellón ha interceptado las fuentes naturales de materiales, a excepción de un volumen anual estimado en unos 10.000 m<sup>3</sup> de arenas finas que son capaces de superar el límite que define el dique de abrigo del puerto.

Una vez la arena alcanza la playa de Ben-Afelí se deposita entre las profundidades de -2 y -5 m conformando, de forma transitoria, el perfil activo de la playa, y formando depósitos de arena permanentes a mayores profundidades. Históricamente, la playa únicamente ha crecido en el trasdós de los diques exentos, de lo cual se deduce que en el resto de playa no existe abrigo suficiente para las arenas finas, que son fácilmente transportables por el oleaje de la zona y que, aunque no son válidas para formar el perfil activo de la playa, juegan un cierto papel en la dinámica de la playa.

En la playa emergida y la orilla el sedimento presente está formado por gravas y guijarros procedentes de una regeneración anterior. Esta fracción gruesa es estable para el oleaje, sosteniendo y defendiendo la costa con cierta eficacia.

En relación a los oleajes de los sectores NE a E movilizan el sedimento en dirección norte-sur; mientras que los oleajes de las direcciones ESE a SSW inducen un transporte en dirección opuesta. Estos últimos oleajes están asociados a tasas de transporte muy reducidas debidas, por una parte, a su menor contenido energético, y por otra, a la gran oblicuidad con la que abordan la costa de estudio.

De los resultados se concluye que, aunque en régimen medio no es de esperar que se originen variaciones en la línea de orilla, se prevé que durante la actuación de temporales de componente norte (direcciones NE a E), pueda producirse la pérdida de material por modificación del perfil activo de las playas, cuando su pie supere la profundidad que limita el morro de las estructuras.

No es previsible que se produzcan pérdidas por la actuación de temporales del sur, siendo de esperar, en el caso de que se produzcan, que retornen a su celda origen debido a la tendencia general de transporte norte-sur.