



ANEJO 05: DINÁMICA LITORAL

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. FLUJO MEDIO DE ENERGÍA (FME)	2
2.1. FME en la profundidad de -5m	3
2.2. Aproximación al estado de equilibrio de la costa	6
2.3. Conclusiones de las condiciones de equilibrio	7
3. SIMULACIÓN DE CORRIENTES	8
4. ESTIMACIÓN PROFUNDIDAD DE CIERRE	9
5. TRANSPORTE MEDIANTE EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA (ELC)	10
5.1 Metodología	10
5.2. Entradas y salidas del sistema	11
5.3. Modelo de transporte	11
5.4. Resultado del modelo de transporte	13
5.5. Leyes de transporte	15
6. CONCLUSIONES	19
7. BIBLIOGRAFÍA	21

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente anejo se va a realizar el estudio de los mecanismos físicos que afectan a la evolución y formación de la costa. Este conjunto de mecanismos se define como dinámica litoral.

Los agentes principales de la dinámica litoral que actúan en el medio y hay que tener en cuenta son:

- Mareas meteorológicas y astronómicas.
- Vientos.
- Oleaje.
- Dinámica fluvial.
- Fuentes de sedimentos: Erosión-transporte-sedimentación.
- Acción antrópica.

Este conjunto de agentes dinámicos interconectados entre si son los responsables de los procesos litorales y de la formación de las playas por lo que son objeto principal de investigaciones actuales.

El tramo de estudio de este proyecto se caracteriza por tener un comportamiento morfodinámico diferente de las demás playas de la zona. Esta diferenciación se debe a la diferente orientación de la costa en este tramo, a su característica situación hidrológica y a la morfología y naturaleza del fondo marino.

Para realizar el estudio de la dinámica litoral se va a comenzar con el análisis del equilibrio de la línea de costas y de sus condicionantes. Por ello se determinará el flujo medio de energía, permitiendo así averiguar la dirección del transporte longitudinal de los sedimentos y la tasa de este transporte litoral.

2. FLUJO MEDIO DE ENERGÍA

Como se ha indicado con anterioridad, se va a cuantificar el Flujo Medio de Energía (FME). Este cálculo tiene una doble función, tal y como nos indica el proyecto: *“La cuantificación del flujo medio de energía tiene un doble interés; por un lado, permite obtener la forma en planta teórica de equilibrio estático a largo plazo de la costa bajo las condiciones hidrodinámicas reinantes y, por otro, posibilita la estimación de la capacidad de transporte potencial del oleaje.”* (Alonso Hieras, J. (2018)). Con el flujo Medio de Energía se podrá determinar el equilibrio del tramo de costa entre otras cosas.

Para realizar la primera aproximación del equilibrio de la costa se va a realizar el cálculo del Flujo Medio de Energía en los puntos a una profundidad de -5 metros. Estos puntos se sacan de la batimetría de la costa que ya se ha obtenido en el anejo 2 “Topografía, Batimetría, Usos del suelo y DPMT”. Una vez obtenido esta información, los cálculos se realizan a una profundidad menor, a -2 metros. Estos últimos puntos tienen que formar tramos de costa que sean perpendiculares a la dirección del vector flujo medio. Para poder obtener esta perpendicularidad los puntos tienen que estar relativamente cerca entre sí. La ortogonalidad del tramo de costa permitirá detectar desequilibrios en el tramo de costa con las condiciones que tiene en este momento.

2.1. FME en la profundidad de -5m

El proyecto estudia un total de 12 nodos que se sitúan a lo largo de la costa de estudio, que en su caso es desde el Puerto de Oliva hasta el Cabo de San Antonio. Estos 12 puntos son los que están situados a -5 metros y se distribuyen de tal forma que tienen en cuenta las discontinuidades, cambios en la orientación o demás situaciones que puedan afectar al flujo medio de energía a lo largo del litoral de Denia.

NODO	x	y	z	Límites Tramo	
1	753445.583	4312319.04	-5	Puerto Oliva	Río Vedat
2	755178.867	4310695.76	-5	Río Vedat	Río Racons
3	756903.665	4309199.04	-5		
4	758510.134	4307814.01	-5	Río Racons	1er espigón Les Deveses
5	760959.222	4306935.26	-5	1er espigón Les Deveses	Río Girona
6	763026.564	4306411.27	-5	Río Girona	Punta dels Molins
7	764122.606	4306471.31	-5		
8	767037.564	4306204.92	-5	Punta dels Molins	Puerto de Denia
9	769440.234	4305674.5	-5		
10	771633.701	4303826.44	-5	Puerto de Denia	Espigón sur Marineta
11	773978.338	4302722.62	-5	Espigón sur Marineta	Cabo San Antonio
12	776763.841	4300736.29	-5		

Tabla 1: Coordenadas UTM de los nodos de control (Fuente: Proyecto Les Deveses)

De estos 12 nodos en este proyecto se estudiará más afondo el nodo número 4, desde el Río Racons hasta el primer espigón de Les Deveses, ya que es donde se encuentra el tramo de costa que se somete a estudio.

Con estos datos el proyecto explica cómo se va a obtener el FME: “Para la determinación del FME, representativo del oleaje dominante que modelará la costa se interpola la serie de oleaje SIMAR&WANA (1958-2012) desde aguas profundas a los doce puntos de control, aplicando para ello los coeficientes de transformación del oleaje obtenidos de las propagaciones previamente realizadas mediante la metodología del HIPERCUBO, y realizando la composición vectorial del oleaje generado en los citados puntos, considerando la probabilidad de presentación asociada a cada uno de estos oleajes”. (Alonso Hieras, J. (2018))

Es decir, que usando los datos de la serie de oleaje proporcionado por Puertos del Estado se realizará una propagación a cada punto de estudio. Esta propagación realizada mediante la aplicación de diversos coeficientes propios de una metodología específica y realizando una composición vectorial, obtienen como resultado la dirección del FME, la orientación perpendicular de la costa en cada nodo y el ángulo relativo que forman estas dos direcciones, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

NODO	z	Límites Tramo		FME (°)	Orientación tramo de costa (°)	Ángulo relativo FME-ortogonal a la costa (°)
1	-5	Puerto Oliva	Río Vedat	N45.3E	N44.4E	0.9
2	-5	Río Vedat	Río Racons	N43.5E	N42.1E	1.4
3	-5	Río Racons	1er espigón Les Deveses	N43.9E	N40.2E	3.7
4	-5	1er espigón Les Deveses	Río Girona	N42.6E	N37.7E	4.9
5	-5	Río Girona	Punta dels Molins	N32.6E	N16.7E	15.9
6	-5	Punta dels Molins	Puerto de Denia	N32.6E	N23.9E	17.0
7	-5	Puerto de Denia	Espigón sur Marineta	N27.2E	N17W	44.2
8	-5	Espigón sur Marineta	Cabo San Antonio	N31.8E	N17.3E	14.5
9	-5	Cabo San Antonio		N29.9E	N38.9E	9.0
10	-5			N42.7E	N25.5E	17.2
11	-5			N47.1E	N37.8E	9.3
12	-5			N42.3E	N23.9E	18.4

Tabla 2: Dirección FME en los nodos, orientación de la costa y ángulo relativo entre ellos (Fuente: Proyecto Les Deveses)

Lo que representa el ángulo relativo es la situación de la playa, es decir, si está en equilibrio estático o no. El valor de dicho ángulo y lo oblicuo que sea el vector oleaje respecto a la costa proporciona información sobre el estado del transporte longitudinal de la costa. En el caso de que el valor del ángulo relativo sea nulo (0°) el transporte en dicho tramo también lo será.

Junto a la información proporcionada en la tabla 2 también se han obtenido unos resultados gráficos. Estos resultados del vector FME son de todos los nodos de control, así que en este caso se analizará únicamente los que afecten al tramo de estudio.

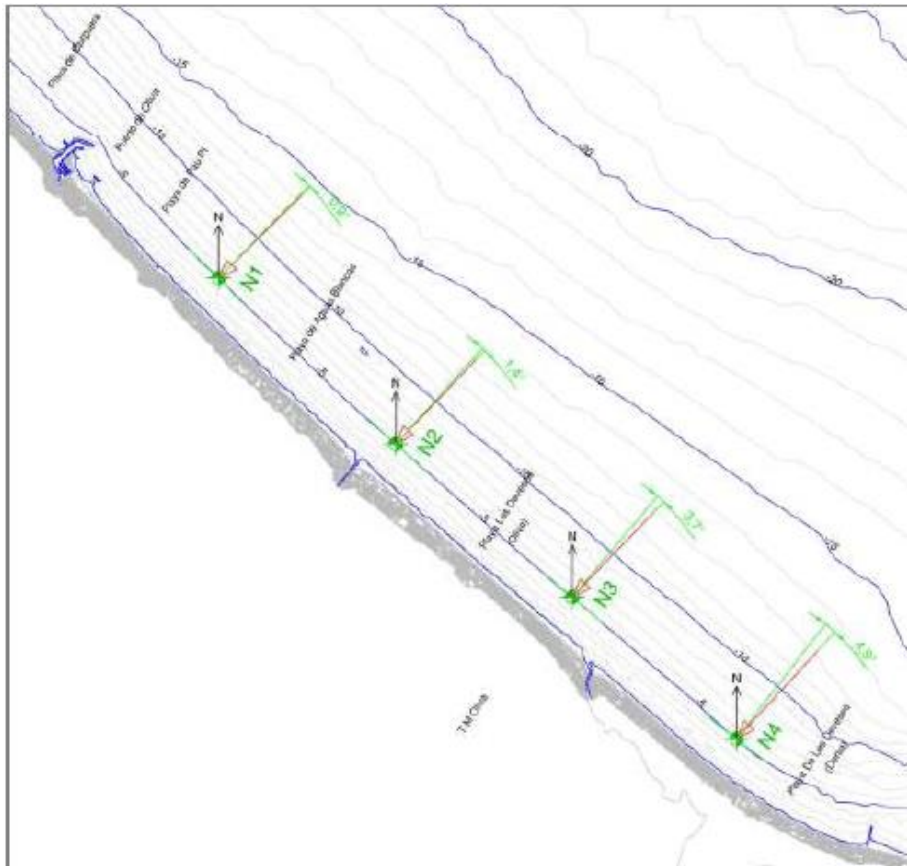


Figura 1: Dirección perpendicular a la orientación de la costa y del FME del nodo 1 al 4. (Fuente: Proyecto Les Deveses)

En el sur del puerto de Oliva (Punto 1) la dirección del FME prácticamente coincide con la dirección perpendicular de la costa. Esto significa que en ese tramo la tendencia de la playa es a estar en equilibrio, es decir, que el transporte longitudinal tiene una baja capacidad.

En este nodo 1 al igual que el nodo 2 el sentido de transporte de sedimentos no está definido con claridad. Se afirma esto ya que la metodología tiene una aceptación de error de ± 2 grados en la dirección del vector que define al oleaje. Como estos dos puntos tienen un ángulo relativo de $0,9^\circ$ y de $1,4^\circ$ el sentido podría variar entre NW-SE y SE-NW dependiendo de la dirección del oleaje en cada año.

Como se aprecia en la Ilustración 1, a partir del nodo 2 la costa comienza un tramo de curvatura que perdura hasta la punta de El Molins. Esta curvatura provoca que la costa tenga un comportamiento propio de las bahías, donde se distingue un tramo que está orientado a la dirección del oleaje medio y otro tramo sometido a la difracción del propio oleaje.

En el nodo 4, que pertenece al tramo de estudio de este proyecto, se puede apreciar que el ángulo relativo entre la dirección ortogonal de la costa y la dirección del FME tiene un valor de $4,9^\circ$. Si se tiene en cuenta el error que se puede llegar a tener por la metodología se observa que la dirección en el transporte de sedimentos siempre va a ser la misma, desde el lado del nodo 5 hacia el nodo 3, es decir, dirección SE-NW.

La orientación del tramo de costa del nodo 4 es $N37,7^\circ E$, siendo esta orientación la dirección de la normal a la línea de costa. Pero en realidad el tramo de estudio tiene una orientación ligeramente diferente, ya que dicho tramo abarca mayor extensión de costa que el nodo 4 y se sitúa en un tramo curvo. Como se muestra en la Ilustración 2 la orientación de Les Deveses es aproximadamente de $N32^\circ E$, por lo que la variación del tramo de costa es de $5,7^\circ$. Para seguir con el estudio de la dinámica litoral se va a emplear la orientación $N37,7^\circ E$ para así poder seguir usando la metodología mencionada con anterioridad.

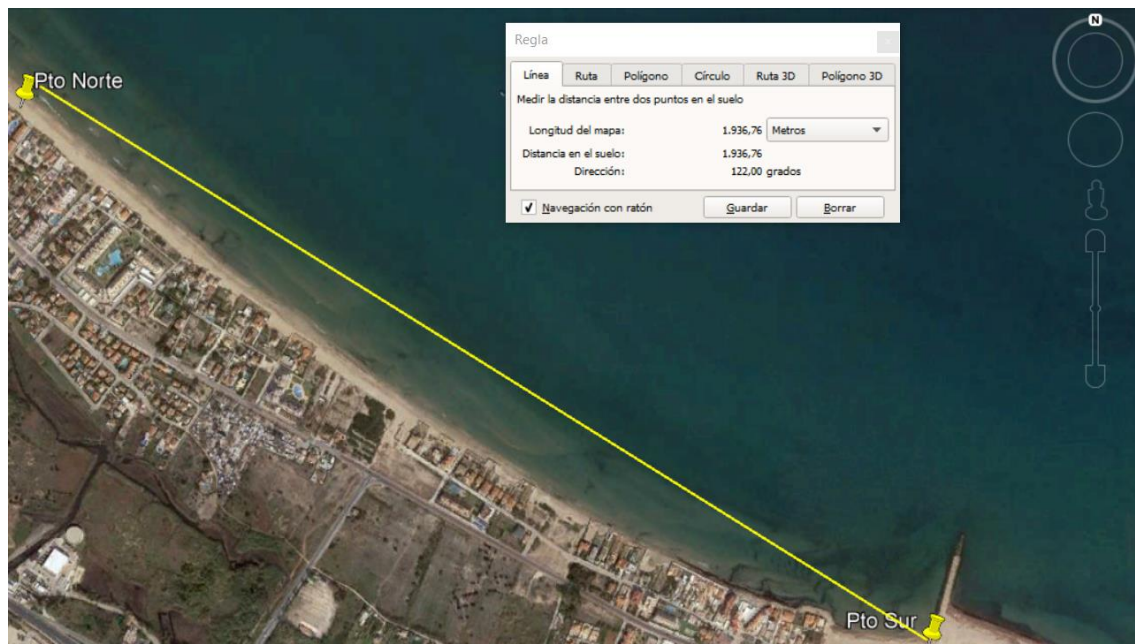


Figura 2: Orientación línea de costa del tramo de estudio. (Fuente: Google Earth).

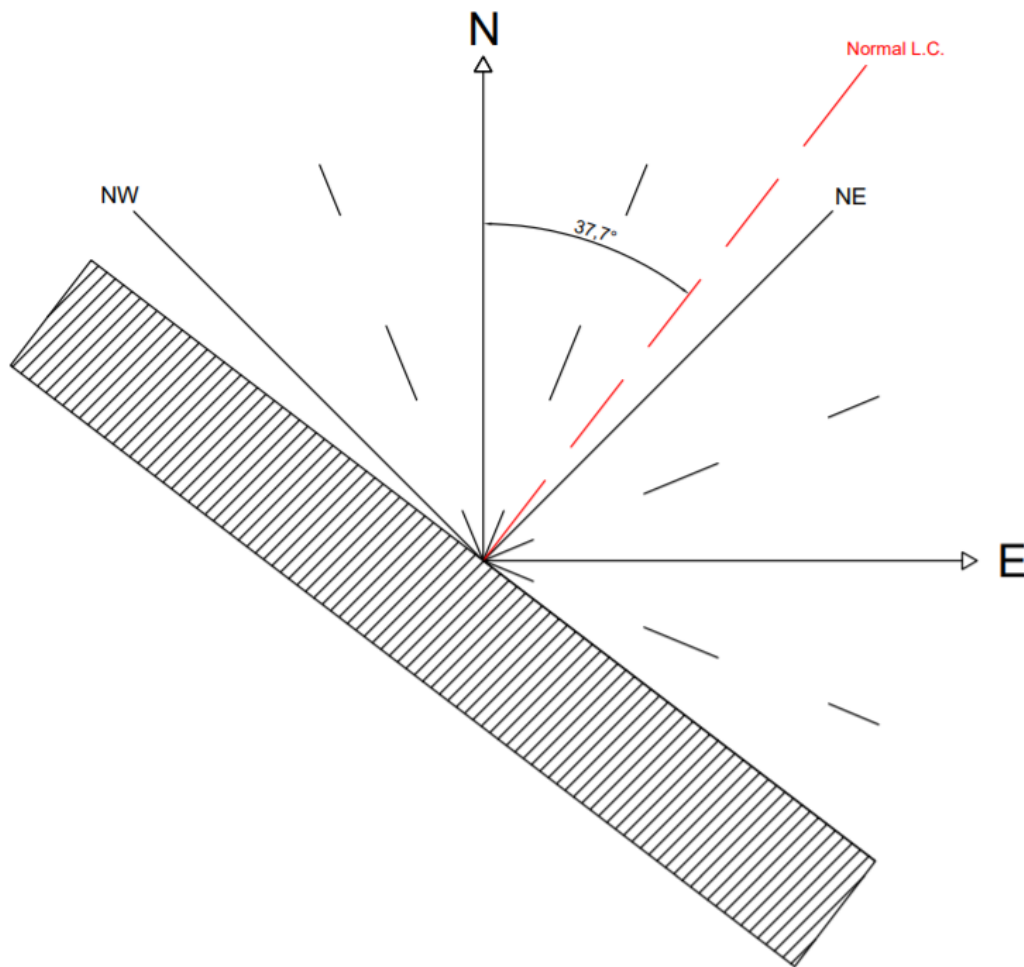


Figura 3: Croquis orientación línea de costa tramo 4. (Fuente: Elaboración propia.)

2.2. Aproximación al estado de equilibrio de la costa

Para poder detectar zonas donde se produzcan acumulación o erosión de sedimentos se va a llevar a cabo de forma teórica una aproximación de la posición de equilibrio de la costa.

Esta aproximación se realiza mediante la distribución de 241 puntos a lo largo de la costa de estudio. Estos puntos se sitúan a una profundidad de -2 metros y están separados aproximadamente 100 metros entre sí.

En todos estos puntos se obtendrá la perpendicular de la dirección del vector FME y su proyección que realiza hasta llegar a la costa. Con estas dos representaciones se puede obtener en planta la forma de la línea de costa en equilibrio, ya que como se indica en el proyecto *“la costa de forma natural tiende a orientarse en la dirección del frente representado por flujo medio de energía del oleaje”*. (Alonso Hieras, J. (2018))

Con esta metodología se diferencia de forma más exacta que la anterior los tramos de costa que tienen desequilibrios y los tramos de costa que están estables.

Al emplear un total de 241 nodos se obtiene mucha información que se agrupan en tramos para así poder interpretarlos de forma más sencilla. Estos tramos están limitados por discontinuidades o cambios de orientación de la costa, al igual que en la metodología anterior,

obteniendo así los valores medios del FME, la orientación de la línea de costa y su ángulo relativo entre la dirección del oleaje medio y la orientación de la línea de costa.

Limites del tramo	Rango de Nodos	Orientación media LC (OLC)	Valor medio del FME ₂	Ángulo relativo (OLC-FME ₂)	CONDICIÓN DE EQUILIBRIO
Pto. de Oliva-río Vedat	N1-N40	N43.3E	47.5	-1.2	EQUILIBRIO
río Vedat-río Racons	N41-N71	N41.2E	45.4	0.3	EQUILIBRIO
río Racons-1.7 km al sur	N72-N90	N37.7E	44.3	6.6	DESEQUILIBRIO
1.7 km al sur Río Racons-1er espigón	N91-N104	N23.9E	33.8	9.9	DESEQUILIBRIO
1er espigón-2do espigón	N105-N112	N19.9E	28.1	8.2	DESEQUILIBRIO
2do espigón-3er espigón	N113-N117	N16.7E	24.5	7.8	DESEQUILIBRIO
3er espigón-río Girona	N118-N129	N20.8E	24.5	3.7	LIGERO DESEQUILIBRIO
Río Girona -Punta L'Estanyó	N130-N145	N23.9E	28.9	5.0	LIGERO DESEQUILIBRIO
Punta L'Estanyó-Punta Els Molins	N146-N155	N17W	14.3	31.3	FUERTE DESEQUILIBRIO
Punta Els Molins-Barranco de L'Alter	N156-N175	N17.3E	25.8	8.5	DESEQUILIBRIO
Barranco de L'Alter-Barranco del Regatxo	N176-N197	N9.7E	27.0	17.3	FUERTE DESEQUILIBRIO
Barranco de El Regatxo-Pto. de Denia	N197-N230	N38.9E	40.2	1.3	EQUILIBRIO
playa Marineta Casiana	N231-N241	N25.5E	31.8	6.3	DESEQUILIBRIO

Tabla 3: Condiciones de equilibrio (Fuente: Proyecto Les Deveses).

En esta metodología el error es de ± 3 grados, un poco más grande que en la metodología anterior. En la tabla se puede apreciar que se han agrupado los nodos en un total de 13 tramos y no se considera el tramo de costa acantilada de les rotes.

Para la interpretación de los datos se ha seguido el siguiente criterio:

- Ángulos relativos entre 0 y 3 grados \rightarrow EQUILIBRIO (o próxima a él).
- Ángulos relativos entre 3 y 6 grados \rightarrow LIGERO DESEQUILIBRIO.
- Ángulos relativos entre 6 y 10 grados \rightarrow DESEQUILIBRIO.
- Ángulos relativos mayores a 10 grados \rightarrow FUERTE DESEQUILIBRIO.

El tramo de costa que se somete a estudio en este proyecto está comprendido entre el río Racons y el primer espigón, por lo que pertenece a 2 zonas distintas. Estas dos zonas delimitan la zona entre posición de equilibrio, propio de la zona de Oliva y la situación de desequilibrio en la que se encuentra prácticamente toda la zona de Denia. Estos dos tramos tienen un comportamiento erosivo que se va aumentando conforme se acerca al espigón de la playa de Les Deveses.

2.3. Conclusiones de las condiciones de equilibrio

Una vez analizado la configuración de la costa en la actualidad y se ha estimado el FME en dos profundidades distintas (-2 metros y -5 metros) se puede afirmar que:

El tramo de costa que pertenece al tramo de Les Deveses presenta un estado de desequilibrio que se va acentuando conforme varía la orientación de la línea de costa, pasa de estar en una situación estable, a la altura del río Racons, a un estado erosivo en apenas 2 kilómetros de distancia. Este desequilibrio se debe a la incidencia oblicua de los oleajes que generan una fuerte erosión en el sector de la costa al que incide dicho oleaje. Pero esta erosión se ha reducido considerablemente con la ejecución de tres espigones transversales a lo largo de la costa, lo que provoca una rigidización de la playa. Pero esta solución no ha solucionado el problema, sino que lo ha desplazado a la zona norte del espigón de Les Deveses, ya que este genera un efecto barrera en el transporte de sedimentos que tienen la dirección SE-NE.

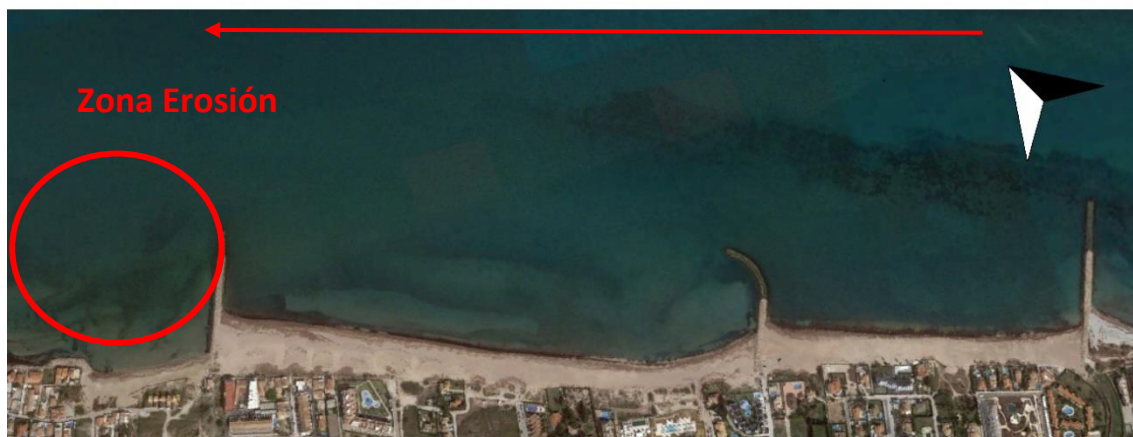


Figura 4: Situación de los 3 espigones (Fuente: Google Earth)

Por otro lado, hay que remarcar que estos desequilibrios han sido agravados no solo por la naturaleza de la costa sino por el alto nivel de ocupación antrópico de la costa de Denia.

3. SIMULACIÓN DE CORRIENTES

Para conocer la dirección en la que se movilizan los sedimentos y determinar en qué zona se produce el cambio de sentido en el transporte se ha de realizar una simulación de las corrientes que son originadas por los oleajes más frecuentes y dominantes, el NE. Con esta simulación también se pueden determinar en qué zonas existe mayor tendencia erosiva, ya que es donde la corriente tiene mayor velocidad y por lo tanto capacidad de transporte.

El proyecto de Les Deveses ha escogido dos estados de régimen medio y régimen extremal para realizar la simulación que son las que se encuentran en la figura 5.

	H_s (m)	T_p (s)	Dirección
R.MEDIO	1	6.5	NE
R.EXTREMAL	10.6	15	NE

Tabla 4: Estados del mar para la simulación de corriente (Fuente: Proyecto Les Deveses)

El proyecto realiza la simulación con el módulo COPLA-SP de la Universidad de Cantabria.

Esta simulación muestra que en la zona de Oliva existen múltiples corrientes que no tienen un patrón direccional definido, sugiriendo la importancia del transporte de sedimentos en dirección transversal en la zona. Una vez pasado el río Racons la corriente dibuja un patrón claro hacia NW en toda la costa de Denia.

Estas corrientes de la región de Denia se hacen más intensas en la zona de Les Marines, Blay Beach y Playa Nova, al igual que en los salientes propios de la costa.

Por otro lado, la simulación de corrientes procedentes de temporales nos indica las pérdidas que se pueden producir transversalmente e identificar las zonas que son más susceptible a sufrir más daño en los temporales. Pero en el caso de la costa de Denia no hay

mucha influencia de estas corrientes ya que lo que provocan es que el transporte de sedimentos dirección SE-NW sea más reducido debido a la mayor refracción que tienen.

También hay que destacar que las corrientes de circulación se encuentran lejos de la costa debido a que el oleaje produce su rotura a una profundidad mayor.

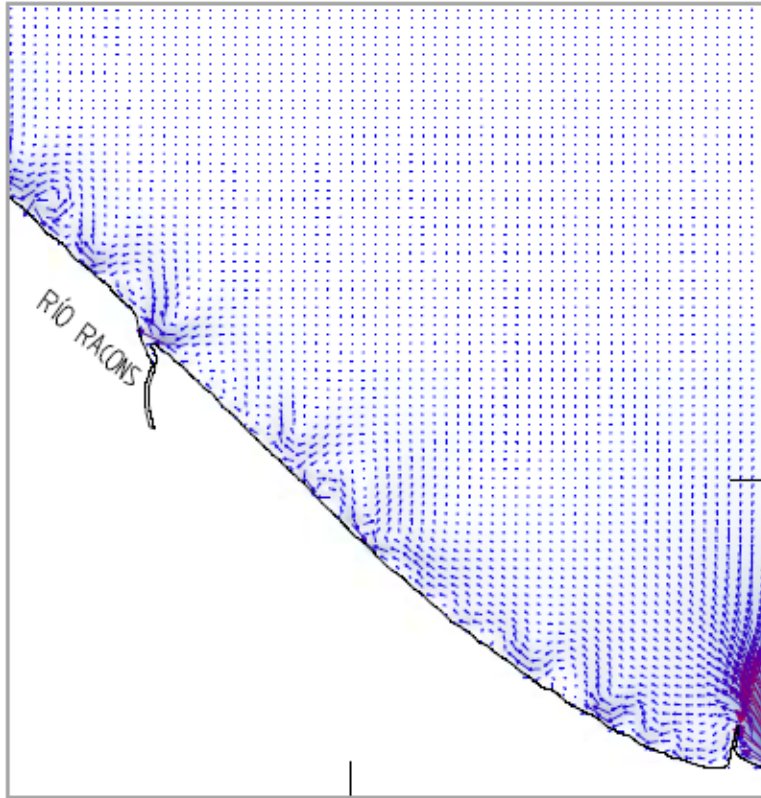


Figura 5: Corrientes del oleaje NE en el tramo de Les Deveses (Fuente: Proyecto Les Deveses)

4. ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CIERRE

La profundidad de cierre se puede determinar tanto de forma teórica como de forma empírica, aunque en este estudio solamente se obtendrá de forma teórica.

Las formulaciones de Hallermeier y de Birkemeier permiten calcular la profundidad de cierre en el perfil de la playa (h). Estas expresiones determinan la profundidad a partir de la cual solo existe movimiento transversal y cesa el transporte longitudinal de sedimentos. Este punto también se conoce como la línea de rompientes, que es donde empieza lo denominado playa sumergida.

La formulación teórica depende del oleaje que actúa sobre el tramo de costa a estudio, más concretamente depende de H_{s12} , que es la altura de ola que solo es superada 12 horas a lo largo del año:

$$h_s = 2.28 \cdot H_{s12} - 68.5 \cdot \left(\frac{H_{s12}^2}{g \cdot T_s^2} \right) \quad \text{Hallermeier (1981)}$$

$$h_s = 1.75 \cdot H_{s12} - 57.9 \cdot \left(\frac{H_{s12}^2}{g \cdot T_s^2} \right) \quad \text{Birkemeier (1985)}$$

Para obtener la altura H_{s12} se ha interpolado, mediante el método de Hipercubo, un total de 8 nodos de la serie de SIMAR&WANA del tramo de estudio.

Los valores obtenidos por la formulación de Hallermeier y Birkemeier han sido de 3,36 metros y 4,75 metros. De estos dos valores el de 4,75 es el que tiene una aproximación mayor a la profundidad de Hs12, que se ha obtenido previamente como indica la ROM 0.3-91 “Documento temático de Regeneración de playas”.

Por lo tanto, el valor que se ha obtenido y contrastado posteriormente con campañas de campo ha sido de -5 metros de profundidad, siendo esta la profundidad de cierre de la playa.

5. TRANSPORTE MEDIANTE EL ESTUDIO DE EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA (ELC)

En este apartado de estudio se va a establecer el equilibrio de sedimentos en la línea de costa que se está estudiando a partir de la evolución de la línea de costa en condiciones de energía medias. Para ello primero hay que determinar la metodología que se va a emplear para establecer dicho equilibrio.

5.1. Metodología

El tramo de costa del municipio de Denia se va a segmentar cada 300 metros, dando un total de 64 subtramos. En estos subtramos se ha realizado el balance de sedimentos contabilizando las entradas y salidas de sedimentos a cada subtramo; pudiendo así determinar la tasa de transporte de sedimentos neta.

Una vez obtenido los resultados de cada uno de los 64 subtramos estos se han agrupado en un total de 7 tramos. Estos 7 tramos están delimitados unos de otros mediante discontinuidades de la costa como espigones, cauces y desembocaduras u obras portuarias. Se realiza esta agrupación para poder obtener una visión más global de la tendencia del transporte de sedimentos a lo largo de la costa de Denia, quedando los tramos siguientes:

TRAMOS	TRANSECTOS
Pto Oliva-Rio Vedat	T1 a T10
río Vedat-río Racons	T11 a T18
Racons-espigón Deveses	T19 a T27
Racons-espigón Deveses	T19 a T27
Deveses-Río Girona	T27 a 35
Girona-Els Molins	T36 a T43
Els Molins-Pto Denia	T44 a T60
Playa Marineta	T61 a T64

Tabla 5: División costa de Denia para el análisis de transporte (Fuente: Proyecto Les Deveses)

El tramo de costa que se estudia en este proyecto es el marcado en la tabla 5, del T19 al T27.

Para evitar y no arrastrar posibles errores que estén en la propia metodología, los resultados obtenidos se van a presentar en intervalos temporales, más concretamente en los siguientes 5 intervalos:

1. 1956 – 1972
2. 1972 – 1981

3. 1981 – 1996
4. 1996 – 2006
5. 2006 – 2012

5.2. Entradas y salidas del sistema

En el tramo de costa que se somete a estudio se identifican las siguientes posibles salidas y entradas de sedimento:

Entrada al sistema (Aporte de sedimentos):

1. Material que se transporta en la dirección NW-SE.
2. Material de procedencia erosiva de la costa rocosa de Denia.
3. Material aportado de origen fluvial.
4. Material aportado artificialmente.
5. Material de procedencia erosiva del cordón dunar.

Salida del sistema (Pérdida de sedimentos):

1. Pérdidas en el sentido transversal.
2. Retirada de sedimentos a nivel antrópico de las playas y los cauces.

De cada uno de estos posibles aportes de sedimentos el Proyecto Les Deveses realiza un estudio exhaustivo de el volumen de sedimentos que se aportan. Todo este volumen de transporte se puede ver reflejado en la tabla 7 del apartado siguiente, omitiendo así todos los cálculos que se han llevado a cabo y poder tener una visión más clara y global de la variación de volumen en cada tramo.

También cabe remarcar que en el balance solamente se cuantifica el volumen de transporte longitudinal, por lo que las pérdidas a nivel transversal no se ven reflejadas.

5.3. Modelo de transporte

Para poder determinar la ley de transporte en el tramo de Les Deveses se ha llevado a cabo el balance de todos los subtramos para así cuantificar las variaciones de la línea de costa entre 1956 y 2012.

Usando los volúmenes de sedimentos que se han obtenido en cada una de las entradas al sistema y junto a la medición de la variación de superficie, se ha realizado una estimación de lo que varía el volumen de transporte de sedimentos en unos periodos de tiempo determinados y los aportes y extracciones de sedimentos totales. Para ello se ha considerado que la profundidad de cierre es la que se ha obtenido con anterioridad ($\approx -5\text{m}$) que el perfil activo es de 7,5 metros y las bermas tienen una altura de 1,5 metros de media. Con todo esto se ha obtenido la siguiente tabla:

	$\Delta V_m (m^3)$						
Periodos	Pto Oliva-Río Vedat	rio Vedat-rio Racons	Racons-espigón Deveses	Deveses-Río Girona	Girona-Els Molins	Els Molins-Pto Denia	Playa Marineta
1956-1972	7236	20710	18002	-3996	7298	26418	-12342
1972-1981	33932	13283	4262	-16863	6915	-19577	26647
1981-1986	-44750	-19331	-20528	-11597	-13888	90059	18640
1986-1990	40282	10435	37165	-42438	-9756	290652	-13395
1990-1992	23065	-11253	28385	66285	66882	-9006	1015
1992-1994	61642	-77070	-2041	9165	45416	-17115	92558
1994-1996	-14896	38714	23436	8856	44653	-67932	-101843
1996-1998	60904	76066	-51289	-15984	-21546	-12604	60809
1998-2000	88844	25242	33772	-23589	4123	-52462	-14970
2000-2006	-89948	-41600	-34304	77334	16706	-61578	-7776
2006-2007	37898	4221	77945	15408	-9786	-9324	-14798
2007-2009	76356	27755	-12450	-10419	8617	893	-9093
2009-2012	46562	14292	-24358	-12044	17456	-60025	---

Tabla 6: Variación de volumen medio anual por tramo (Fuente: Proyecto Les Deveses)

En la anterior tabla los valores en positivo representan la acreción o aporte de sedimentos y los valores negativos la erosión o la pérdida de sedimentos.

Por otro lado, como se ha indicado con anterioridad, se ha obtenido de forma independiente las aportaciones y las extracciones de sedimentos totales que intervienen en el balance.

	APORTES Y EXTRACCIONES (m3/año)						
	Pto Oliva-Río Vedat	rio Vedat-rio Racons	Racons-espigón Deveses	Deveses-Río Girona	Girona-Els Molins	Els Molins-Pto Denia	Playa Marineta
1956-1972	0	0	93	3627	0	0	0
1972-1981	0	0	-1682	3627	0	0	0
1981-1986	1600	0	93	3627	0	9568	13432
1986-1990	0	0	-475	3627	0	174773	6375
1990-1992	-991	0	-2178	3627	0	0	0
1992-1994	39210	0	-6373	4991	3636	0	0
1994-1996	-5120	0	-7240	5536	5091	0	0
1996-1998	-4788	0	-7693	5527	5065	0	0
1998-2000	1217	0	-5347	5064	3833	0	0
2000-2006	3000	0	-1253	46568	788	1833	0
2006-2007	2609	0	-968	0	0	0	0
2007-2009	13800	0	1642	0	15992	0	0
2009-2012	3139	0	24169	6435	2448	1083	0

Tabla 7: Extracciones y aportes totales anuales por periodo y tramo.

Con toda esta información, para obtener el volumen que entra o sale en cada subtramo, se ha utilizado la siguiente formulación del balance:

$$V_{S,i} = V_{S,i-1} + V_{1,i}$$

Aunque la formulación anterior tiene una pequeña condición:

$$\text{Si } \Delta V < 0 \text{ y } V_{m,i} > \Delta V_{m,i} \rightarrow V_{1,i} = \Delta V_i + V_{m,i}$$

$$\text{Si } \Delta V > 0 \rightarrow V_{1,i} = -\Delta V_i + V_{m,i}$$

Siendo:

$V_{S,i}$: Volumen por año de salida del tramo total ($m^3/año$)

$V_{1,i}$: Variable que tiene en cuenta tanto las extracciones como las aportaciones al tramo “i” y el volumen acumulado o erosionado de sedimentos en ese mismo tramo (obtenido $V_{m,i}$ mediante la metodología anterior ELC).

$V_{m,i}$: Volumen medido de material en el tramo “i”

ΔV : Variable que tiene en cuenta las extracciones y aportes al sistema y la erosión, en este caso dunar.

Como se muestra en el proyecto de Les Deveses la siguiente figura muestra de forma simplificada y esquematizada las variables que tienen lugar en esta metodología de estimación.

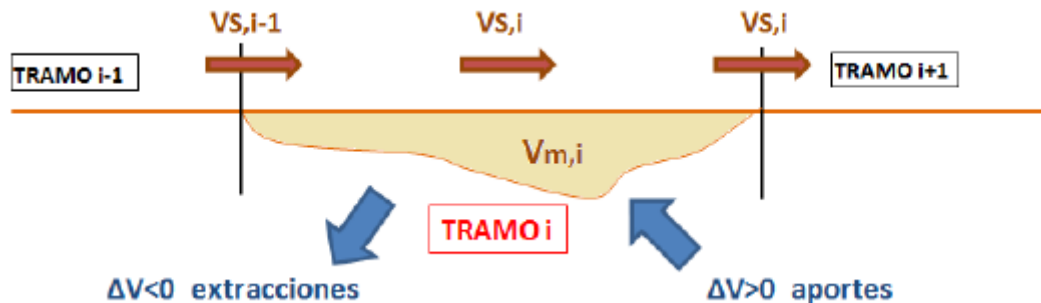


Figura 6: Esquema de obtención del balance en tramo i (Fuente: Proyecto Les Deveses)

También hay que mencionar que esta metodología tiene ciertas limitaciones ya que está basada en la evolución de la línea de costa.

“Ahora bien, deben tenerse presentes las siguientes limitaciones implícitas en la metodología del modelo de cálculo:

- *Error en la digitalización de la línea de orilla para su restitución por efectos de escala, que puede traducirse en un volumen importante de arenas dada la extensión del área de tratamiento.*
- *Variabilidad del momento estacional de toma de las fotografías aéreas.*
- *Suposición de un perfil de playa teórico constante que avanza o retrocede con la línea de orilla.*
- *Los resultados del balance de sedimentos definido son representativos de las condiciones de transporte medias, debiendo considerarse su variabilidad interanual, tal y como se verá al final del documento, que permita asignar una banda de confianza del sedimento movilizado.”* (Alonso Hieras, J. (2018))

5.4. Resultados del modelo de transporte

Como se ha indicado con anterioridad, se ha llevado a cabo el balance de los 64 subtramos en la dirección NW-SE, siendo el primer subtramo el que se sitúa justo al sur del puerto de Oliva. Para poder comenzar con el balance se ha considerado un valor de entrada de 15.000 y 20.000 m³/año de transporte medio.

Los resultados se han obtenido para cada uno de los intervalos mencionados y definidos anteriormente en este Anejo, considerando que el transporte de sedimentos se realiza de NW-SE, siendo esta dirección positiva y la dirección SE-NW se representan con valores negativos.

Es interesante analizar cada uno de los intervalos temporales en los que se han obtenido los resultados ya que estos nos aportan información adicional del estado de la costa en cada momento.

De los dos primeros intervalos (1956-1981) el estado de la costa era lo más natural que se puede encontrar, ya que es anterior al comienzo de la edificación y ocupación del litoral.

El siguiente intervalo (1981-1996) es el periodo donde se ejecutaron la mayoría de las actuaciones de la costa de Denia, por lo que los datos obtenidos son confusos y son menos fiables.

En los siguientes años (1996-2006) se sigue ejecutando las actuaciones y es donde se muestran los mayores retrocesos en la línea de costa.

El último intervalo (2006-2012) muestra las condiciones actuales del litoral de estudio.

Para la interpretación de resultados se van a emplear dos tablas diferentes. En la primera tabla se va a mostrar los retrocesos y los avances de la línea de costa de cada intervalo en cada tramo. La segunda tabla muestra el transporte en términos anuales.

	$\Delta S(m2/año.ml)$						
Periodos	Pto Oliva-Río Vedat	río Vedat-río Racons	Racons- Deveses	Deveses-Río Girona	Girona-Els Molins	Els Molins-Pto Denia	Playa Marineta
1956-1972	0.3	1.2	1.0	-0.3	0.4	0.7	-1.5
1972-1981	1.6	0.8	0.2	-1.2	0.4	-0.5	3.2
1956-1981	1.0	1.0	0.6	-0.7	0.4	0.1	0.9
1981-1996	0.0	0.3	0.9	0.4	1.3	2.1	-2.8
1996-2006	3.0	2.1	1.1	-0.6	-0.5	-0.7	1.2
2006-2012	2.6	0.9	0.7	-0.2	0.3	-0.6	-1.4

Tabla 8: Retrocesos y avances promediados ($m2/año.ml$) (Fuente: Proyecto Les Deveses)

	Transporte ($m3/año$)						
Periodos	Pto Oliva-Río Vedat	río Vedat-río Racons	Racons-espigón Dev	Deveses-Río Girona	Girona-Els Molins	Els Molins-Pto Denia	Playa Marineta
1956-1972	14114	4244	-23479	-21084	-23323	-37887	5182
1972-1981	779	-24155	-32125	-21992	-16799	-14827	-13452
1956-1981	7446	-9956	-27802	-21538	-20061	-26357	-4135
1981-1996	2605	10214	-6291	-15469	-18068	-63474	-931
1996-2006	-6003	-46834	-87377	-87214	-78575	-60692	-5719
2006-2012	-1746	-26402	-36239	-33039	-41494	-21977	4685

Tabla 9: Transporte promediado temporalmente ($m3/año$) (Fuente: Proyecto Les Deveses)

Con estos datos y con la representación gráfica de los resultados promediados en los diferentes intervalos, se establece una ley de transporte del litoral de Denia a partir de la evolución de la costa.

5.5. Leyes de transporte

Intervalo 1956-1972:

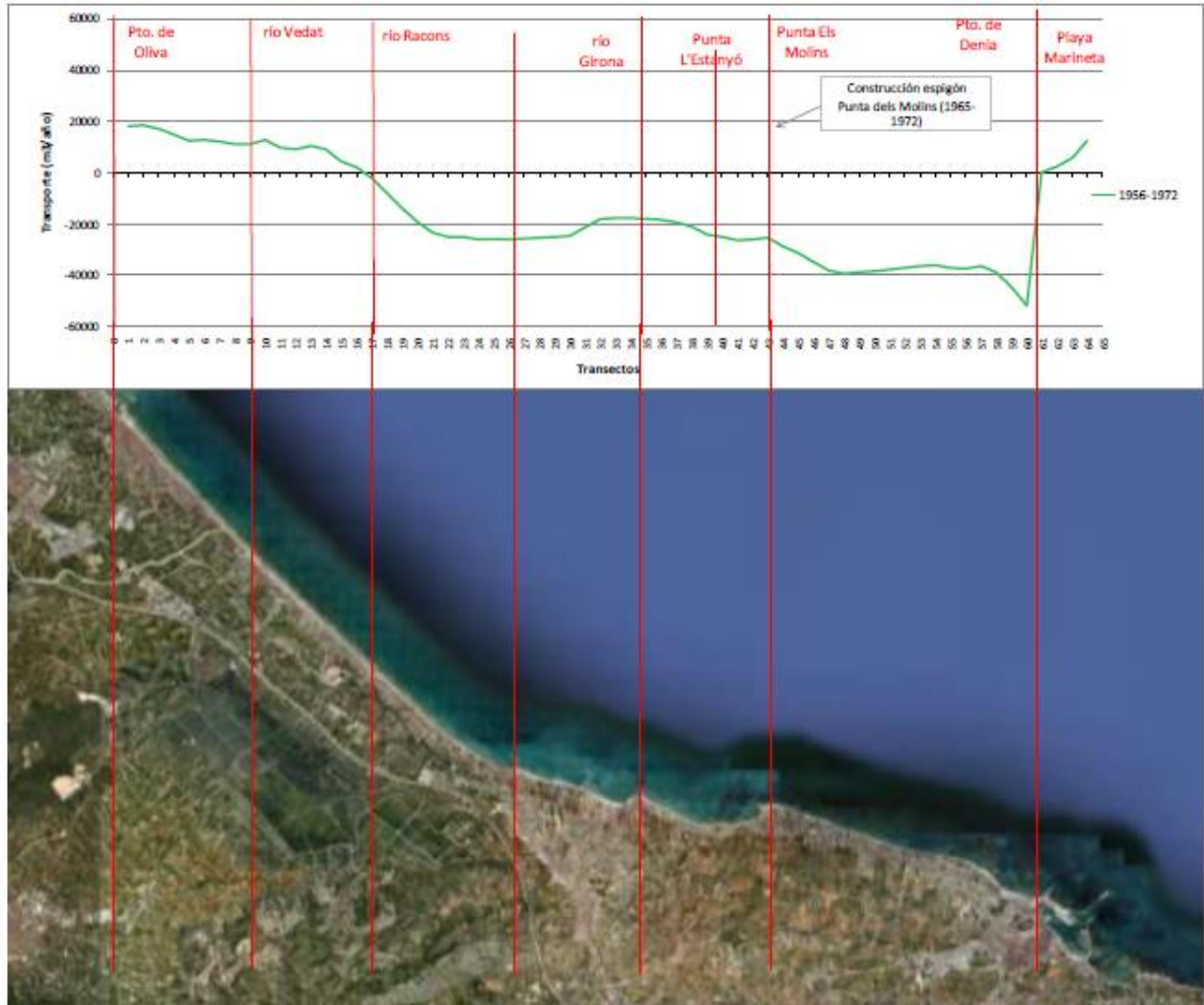


Figura 7: Transporte neto ($m^3/año$) en el intervalo 1956-1972 (Fuente: Proyecto Les Deveses)

Como se aprecia en el gráfico, la capacidad de transporte en el puerto de Oliva está cerca de los $20.000 m^3/año$. A partir de aquí se acumula los sedimentos provocando un pequeño descenso hasta llegar a T5. De T5 hasta T13 el transporte se mantiene entorno a los $10.000-15.000 m^3/año$, pero posterior a T13 comienza a descender hasta llegar a las proximidades del río Racons. A partir de este punto el transporte se invierte de NW-SE a SE-NW.

En T21, donde comienza la playa de Les Deveses, se mantiene de forma constante el transporte en torno a unos $25.000 m^3/año$ hasta llegar al punto T29 donde se produce un giro en la orientación de la costa y con ello se genera erosión.

A partir de este punto se ve un incremento en el transporte destacando el punto T43, ya que en esa época se construyó el espigón de la Punta Els Molins, provocando una acumulación de sedimentos y también hay que destacar el Puerto de Denia, que genera una barrera en el transporte de sedimentos y un cambio de sentido del transporte en la Marineta.

Gracias a la fototeca de la Generalitat Valenciana se puede comprobar que a la altura del río Racons el transporte de sedimentos es prácticamente nulo, debido a que la desembocadura se mantiene perpendicular a la línea de costa.



Figura 8: Desembocadura Río Racons 1956 (Fuente: Visor GVA)

Intervalo 1972-1981

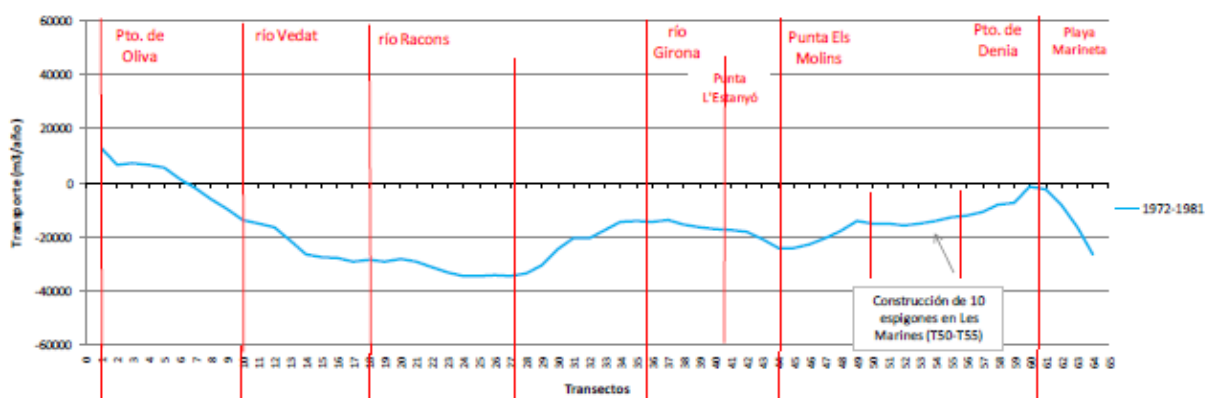


Figura 9: transporte neto (m³/año) en el intervalo 1972-1981 (Fuente: Proyecto Les Deveses)

El motivo por el que el transporte neto se ve afectado respecto al intervalo anterior es que se han comenzado a ejecutar pequeñas intervenciones en la costa de estudio.

En el puerto de Oliva se aprecia una tendencia de sedimentación, por lo que el transporte se ve disminuido a la mitad. A partir de este punto el transporte se va disminuyendo, provocando que el sentido del transporte se invierta antes de llegar al río Vedat, cuando antes se invertía llegando al río Racons, aproximadamente 3 kilómetros antes.

A partir de este punto se aprecia que la tendencia del transporte es muy parecida a la del intervalo anterior, solo que los valores disminuyen. Hay que destacar que el tramo que se sitúa entre el puerto de Denia y la punta de Els Molins se aprecia un descenso brusco en el valor del transporte y es debido a la ejecución de 10 espigones a lo largo de este tramo del litoral.

En este caso el río Racons tiene un transporte neto que va dirección S-N, como bien se indica en la siguiente Ilustración, ya que la desembocadura del río sigue esta dirección, está inclinada hacia el norte.

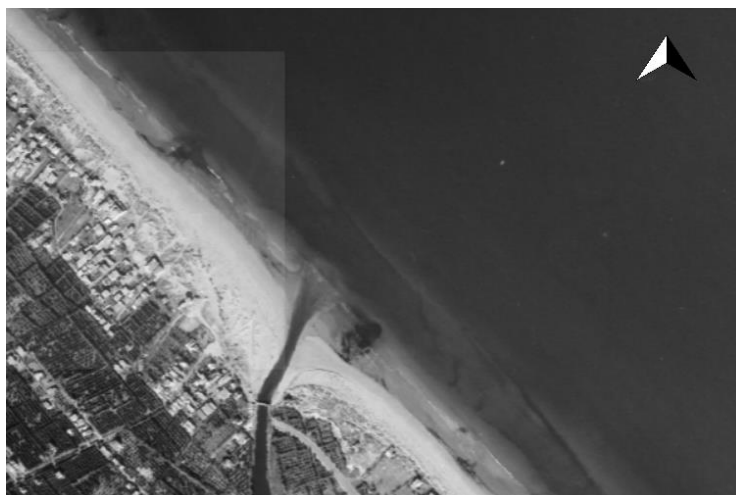


Figura 10: Desembocadura Río Racons 1976 (Fuente: Visor GVA)

Intervalo 1981-1996.

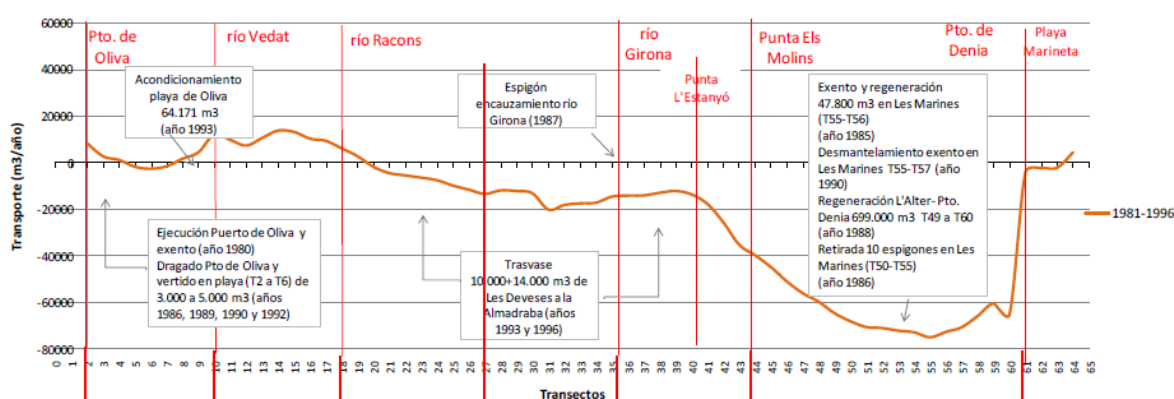


Figura 11: Transporte neto (m³/año) en el intervalo 1981-1996 (Fuente: Proyecto Les Deveses)

En la ilustración 8 se ve no solo el transporte neto sino unas anotaciones que muestran las intervenciones que sucedieron en este intervalo de tiempo y justificando así el transporte en cada punto.

Se puede apreciar que la ejecución del puerto de Oliva hace que el transporte en este punto disminuya drásticamente, haciendo que se invierta el sentido del transporte mucho antes que en el intervalo anterior. Los acondicionamientos de la playa de Oliva provocan que aumente el transporte y el sentido de transporte siga siendo de NW-SE, pero una vez pasado el río Racons este se invierte.

En la playa de Les Deveses se extrae arena y se hace el trasvase a la Almadraba, ya que esta zona estaba sometida a un proceso continuo de erosión. Junto a este trasvase se aprecia que en la parte de la playa de Les Marines se retiran los 10 espigones haciendo que vuelva a aumentar el transporte.

Intervalo 1996-2006.

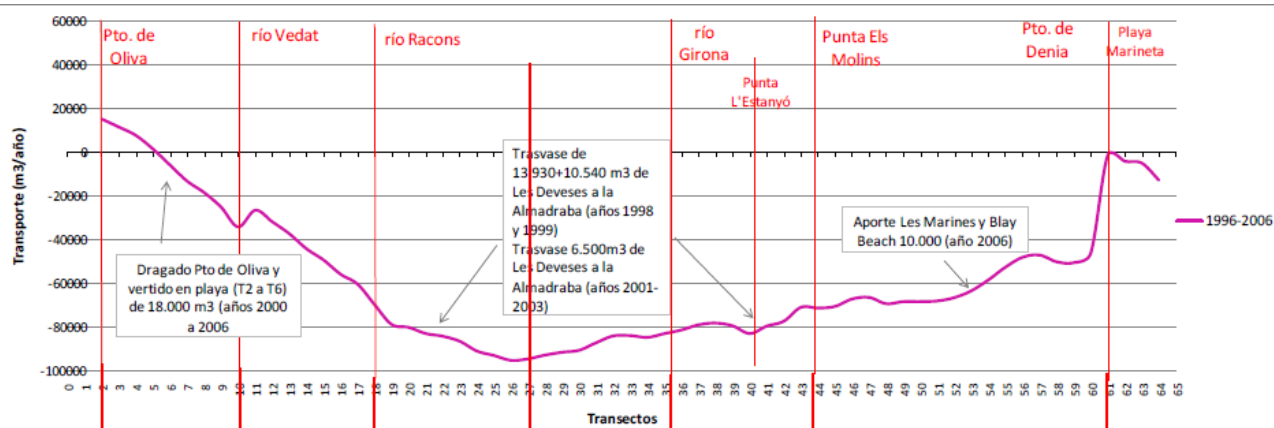


Figura 12: Transporte neto (m³/año) en el intervalo 1996-2006. (Fuente: Proyecto Les Deveses)

En este intervalo se aprecia el mayor retroceso de la línea de costa. A diferencia del periodo anterior aquí las ejecuciones han disminuido y la tendencia del transporte ha cambiado.

En el puerto de Oliva la situación sigue igual, aunque ya se invierte el sentido del transporte mucho antes del río Vedat. Se aprecia un aumento considerable en el transporte de sedimentos a la altura de la playa de Les Deveses que no disminuye hasta pasar la punta de Els Molins.

Se puede apreciar por lo tanto dos tramos diferentes, el primero desde la playa de Oliva hasta la playa de Les Deveses, que tiene una tendencia acumulativa; y el segundo tramo es el resto del litoral que tiene una tendencia erosiva.

En este intervalo la desembocadura del río Racons va dirección S-N de forma muy marcada, corroborando así que en este tramo el transporte de sedimentos sigue esta dirección tal y como se ha comentado.

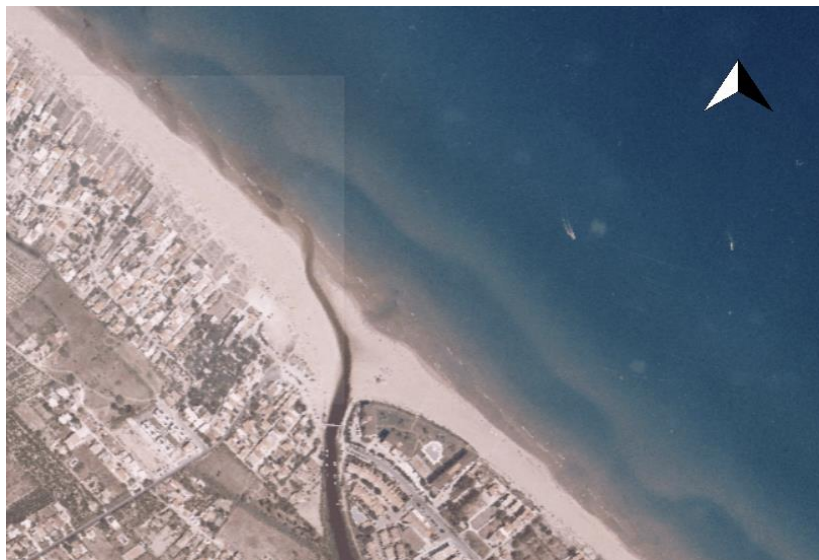


Figura 13: Desembocadura Río Racons 2005 (Fuente: Visor GVA)

Intervalo 2006-2012.

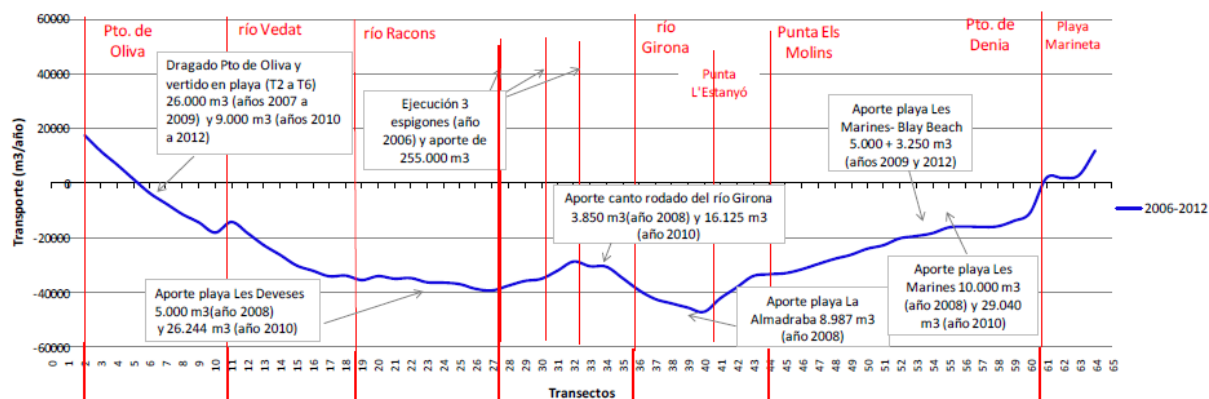


Figura 14: Transporte neto (m³/año) en el intervalo 2006-2012. (Fuente: Proyecto Les Deveses)

En este periodo se puede apreciar las condiciones de transporte actuales. La ley de transporte es similar a la del anterior intervalo, una tendencia acumulativa desde el puerto de Oliva y un cambio en el sentido del transporte a unos 1000 metros de dicho punto. Por otro lado, la costa de Denia tiene una tendencia erosiva que se pone en manifiesto con el aumento del transporte.

También se aprecia la estabilidad del tramo de costa desde la punta L' Estanyó hasta el río Girona, que se mantiene el transporte de sedimentos.

Por otro lado, la ejecución de los 3 espigones en la playa de Les Deveses hace que se rigidice y se establezca la playa, aunque a partir del último espigón se produzca un aumento en el transporte que luego se estabiliza y disminuye por la tendencia estabilizadora propia de este tramo.

6. CONCLUSIONES

Respecto al sentido del transporte de los sedimentos se puede diferenciar tres tramos que está definidos en todos los periodos estudiados. Estos tres tramos, como bien se muestran en los resultados del balance y del FME, son los siguientes:

- El tramo que corresponde a los kilómetros que se sitúan tras el puerto de Oliva. En este tramo el sentido es el mismo que el del Golfo de Valencia, sentido NW-SE.
- EL tramo que corresponde a la costa de Denia. Este tramo es muy extenso y el sentido del transporte se invierte a SE-NW.
- EL tramo en el cual el transporte es nulo y es donde se invierte el sentido de transporte. Este tramo es variable a lo largo del tiempo, aunque se puede aproximar y acotar desde el río Racons hasta unos 2 kilómetros de distancia del puerto de Oliva.

Todos estos resultados se pueden contrastar con los resultados de las corrientes simuladas, los elementos morfológicos, la erosión continua del litoral y el cambio de orientación de la costa.



Figura 15: Croquis sentido del transporte en el litoral de estudio. (Fuente: Proyecto Les Deveses)

Con todo esto se puede afirmar que la costa de Denia es deficitaria, es decir, que su naturaleza es estar en regresión. Pero esto no solo se ha visto en la actualidad, sino que históricamente ha tenido unas erosiones en el tramo que va desde el puerto hasta la punta de L'Estanyó y a partir del espigón de la playa de Les Deveses.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. ESTEBAN CHAPAPRÍA, V. (2004). *Obras Marítimas*, Valencia.
2. ALONSO HERAS, J. (2018). *Proyecto Les Deveses*. [Archivo PDF].