



ANEJO 8. DINÁMICA LITORAL



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. PROPAGACIÓN DEL OLAJE DESDE AGUA PROFUNDAS	3
3. ANÁLISIS MORFODINÁMICO DE ESTABILIDAD DE LA COSTA	5
4. CORRIENTES GENERADAS POR OLAJES DE NE	6
5. PROFUNDIDAD DEL CIERRE DEL PERFIL.....	7
6. VOLÚMEN DE SEDIMENTACIÓN MEDIANTE UN BALANCE DE 300 M.....	8
7. ANALISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA.....	14
8. REFERENCIAS	17



1. INTRODUCCIÓN

La dinámica litoral es el conjunto de procesos costeros causados por los agentes climáticos marinos al actuar sobre el medio. Los elementos esenciales de la dinámica litoral son los agentes actuantes, el medio sobre el que actúan y el transporte del material de un lugar a otro. Los principales agentes climáticos son el oleaje, el viento, las variaciones del nivel del mar y las corrientes.

La causa fundamental de la erosión, transporte y sedimentación es el oleaje, el cual genera corrientes que influyen en el movimiento de los materiales sedimentarios a lo largo del litoral.

Mediante el estudio de la dinámica litoral en nuestra zona de estudio tiene como objetivo:

- Localizar y limitar la zona donde se produce la inversión del sentido del transporte.
- Cuantificar el volumen de material que se moviliza anualmente en la zona de estudio.
- Conocer la ley de transporte que permita identificar las zonas de acumulación y de erosión sedimentaria.

Para llevar a cabo estos objetivos se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

1. Propagación del oleaje desde aguas profundas.
2. Análisis morfodinámico de estabilidad de la costa actualmente y la potencialidad del transporte longitudinal mediante el Flujo Medio de Energía (FME) frente a la costa a las profundidades -5 m y -2 m
3. Corrientes generadas por los oleajes NE (oleaje reinante en la playa de Les Marines)
4. Profundidad de cierre del perfil de la playa.
5. Volumen de sedimentación mediante un balance cada 300 m.

2. PROPAGACIÓN DEL OLAJE DESDE AGUA PROFUNDAS

El oleaje a medida que se aproxima a la costa y la profundidad disminuye puede sufrir una serie de fenómenos como son el asomeramiento, la refracción, la difracción o la rotura que cambian las características de este y hace que el oleaje dependiendo de los fondos que se encuentra hasta llegar a la línea de costa se comporte de una manera u otra. La rotura es uno de los fenómenos que más relevancia tiene en el transporte de material sedimentario, ya que gracias a esta se generan las corrientes paralelas a la línea de costa. Estas corrientes se varían dependiendo de la combinación de gradientes de altura de ola y la incidencia oblicua a la costa. Las corrientes generadas por este fenómeno cobran mucha importancia, mas incluso que las generadas por el viento o las mareas, puesto que esta repercute de forma directa en el desarrollo de la línea de costa.

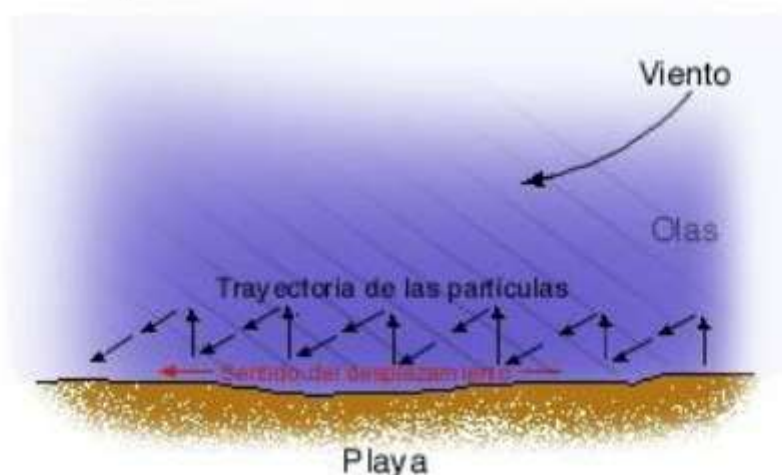


Figura 1. Deriva litoral.

“La propagación del oleaje desde aguas profundas hasta la costa objeto de estudio se ha llevado a cabo mediante el empleo del modelo numérico de refracción/difracción Oluca-SP (oleaje espectral) implementado en el “Sistema de Modelado Costero” (SMC) desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) de la Universidad de Cantabria.”

Para obtener la propagación se emplea un modelo digital del terreno, el cual nos aporta información de las características del suelo hasta llegar a la línea de costa. De esta forma se propaga el oleaje desde la boya situada frente a la playa de Les Marines se puede observar cómo va a comportarse cuando se aproxime a la costa.



Figura 2. Batimetría zona de estudio. Fuente: Ecocartografía Valencia y Alicante

Como ya se ha visto en el punto de clima marítimo, el sector reinante del oleaje cuando se llega a la provincia de Alicante es el NNE. Se debe destacar que una vez pasada Punta Molins las características del fondo marino cambian encontrándonos un fondo rocoso que aumenta la exposición al frente litoral y la exposición al oleaje procedente del NNE. Sin embargo, la playa de Les Marines se ve totalmente protegida ante los oleajes que provienen del ESE por el puerto de Denia.

El oleaje de régimen medio es muy similar en toda la zona, con alturas de ola entre 0.17 - 0.43 m a una profundidad de 5 m el 50% del tiempo con un periodo medio de 5.2 s.

La altura de ola (H_s) de diseño del oleaje extremal propagado hasta la costa con un periodo de retorno de 68 años que se debe coger es de 2.3 m (NE).

3. ANÁLISIS MORFODINÁMICO DE ESTABILIDAD DE LA COSTA

Mediante el Flujo Medio de Energía (FME) estimado en la batimétrica -5 m, se observa un desequilibrio generalizado en la costa de Denia con una resultante del transporte SE-NW. Se trata de un caso peculiar puesto que en la costa del golfo de Valencia la dirección predominante del transporte es NW-SE pero en la zona de Oliva se produce un cambio y la dirección se invierte.

Mediante la dirección del FME y como incide este en la costa se puede saber con mayor exactitud las zonas que permanecen estables y las que presentan desequilibrios morfodinámicos locales.

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			N43.9E	N40.2E	3.7
4	-5	Río Racons	1er espigón Les Deveses	N42.6E	N37.7E	4.9
5	-5	1er espigón Les Deveses	Río Girona	N32.6E	N16.7E	15.9
6	-5	Río Girona	Punta dels Molins	N32.6E	N23.9E	17.0
7	-5			N27.2E	N17W	44.2
8	-5	Punta dels Molins	Puerto de Denia	N31.8E	N17.3E	14.5
9	-5			N29.9E	N38.9E	9.0
10	-5	Puerto de Denia	Espigón sur Marineta	N42.7E	N25.5E	17.2
11	-5	Espigón sur Marineta	Cabo San Antonio	N47.1E	N37.8E	9.3
12	-5			N42.3E	N23.9E	18.4

Figura 3. Dirección FME-5m en nodos de control a lo largo de la costa, orientación de la costa y ángulo relativo entre ambos.

La representación de las perpendiculares al FME a lo largo del litoral a la profundidad -2 m permite obtener la forma en planta de equilibrio estático de la línea de orilla e identificar que zonas permanecen estables y las que presentan desequilibrios morfodinámicos locales.

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

Figura 4. Resumen de las condiciones de equilibrio.

En la tabla adjuntada anteriormente se puede ver como la zona sobre la que se está realizando el estudio se encuentra en una situación de Fuerte Desequilibrio. Se debe destacar que solo encontramos tres zonas donde hay una situación de equilibrio. El tramo de El Regatxo-Pto. Denia, ya que el puerto protege esta zona de la corriente con dirección SE-NW, y los dos primeros tramos que se tratan de la zona costera situada en Oliva. Es en este tramo donde se produce la inversión de la corriente y pasa a ser SE-NW.

4. CORRIENTES GENERADAS POR OLEAJES DE NE

Mediante la simulación realizada con el modelo numérico Copla-SP del SMC (GIOCI) a partir de las salidas obtenidas de los oleajes propagados se puede determinar con un mayor grado de precisión las corrientes de rotura de los oleajes mas frecuentes y dominantes de NE. Mediante este sistema se obtiene la información suficiente para determinar la zona donde se produce la inversión de la corriente.

Este fenómeno se produce en la zona de Oliva donde encontramos un equilibrio entre la erosión y la sedimentación por lo que se trata de una zona estable. Es aquí donde varía la dirección del flujo.

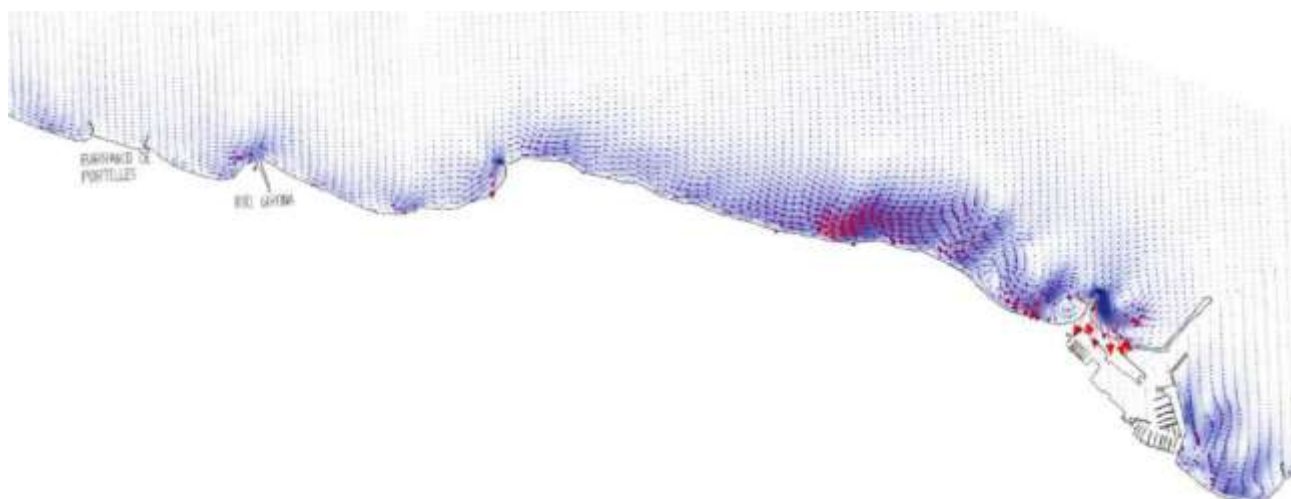


Figura 5. Resultados de la simulación de corrientes para oleajes NE

Centrándonos en la zona de la playa de Les Marines – Blay Beach como se puede ver en la imagen adjuntada se trata de una zona donde aumenta la intensidad de las corrientes dando lugar a una mayor capacidad de transporte de material y por tanto una mayor capacidad erosiva. A esta situación se le debe sumar el poco aporte de material que se tiene en esta zona, de ahí el problema que encontramos actualmente en la zona situada en Blay Beach. Se debe recordar que la dirección del flujo pasa a ser SE-NW.

5. PROFUNDIDAD DEL CIERRE DEL PERFIL

La profundidad de cierre de una playa nos aporta la información que necesitamos para saber cuándo las partículas de sedimentos movidas por las corrientes generadas en la costa no vuelven a la playa. Es decir, a partir de la profundidad de cierre los materiales sedimentarios movidos por el flujo generado en esa zona no vuelven a depositarse en la línea de costa por lo que dejarían de contar como transporte longitudinal de la playa y pasarían a ser transversal.

Para el cálculo de la profundidad de cierre en la playa de Les Marines se ha recurrido a las formulaciones teóricas de Hallermeier (1981) y Birkemeier (1985) y posteriormente cotejados los valores mediante estudio comparativo de perfiles de playa medidos en campañas de campo en distintas épocas.

En la zona de la costa de Denia los resultados oscilan entre 3,36 y 4,75 m de profundidad, correspondiendo los valores mayores a la formulación de Hallermeier y los menores a la de Birkemeier.

LÍMITES DE TRAMO		NODOS				Características del oleaje		Profundidad de cierre (h*)	
		Nº	x	y	z	H _{s12} (m)	T _{p12} (s)	Hallermeier	Birkemeier
Puerto Oliva	Río Vedat	1	753445.583	4312319.04	-5	2,19	10,06	4,66	3,55
Río Vedat	Río Racons	2	755178.867	4310695.76	-5	2,19	10,02	4,66	3,55
		3	756903.665	4309199.04	-5	2,17	10,14	4,64	3,53
1 ^{er} Espigón	Río Girona	5	760959.222	4306935.26	-5	2,06	10,08	4,40	3,36
Río Girona	Punta de Los Molinos	6	763026.564	4306411.27	-5	2,08	10,12	4,44	3,39
Punta de Los Molinos	Barranco del Regatxo	8	767037.564	4306204.92	-5	2,10	10,13	4,48	3,41
Barranco del Regatxo	Puerto de Denia	9	769440.234	4305674.5	-5	2,22	10,43	4,75	3,62
Puerto de Denia	Espigón sur Marineta Casiana	10	771633.701	4303826.44	-5	2,22	9,81	4,70	3,58

Figura 6. Profundidad del cierre del perfil.

6. VOLÚMEN DE SEDIMENTACIÓN MEDIANTE UN BALANCE DE 300 M

Para la obtención del transporte de sedimentos se ha dividido la costa en tramos de 300 m y en cada uno de estos se han tenido en cuenta los resultados obtenidos de la evolución de la línea de costa (ELC), variación de superficie experimentada por la costa en cada subtramo entre dos periodos consecutivos, la profundidad de cierre del perfil de playa y la altura de si berma y por ultimo las entradas y las salidas en el periodo 1956-2012.

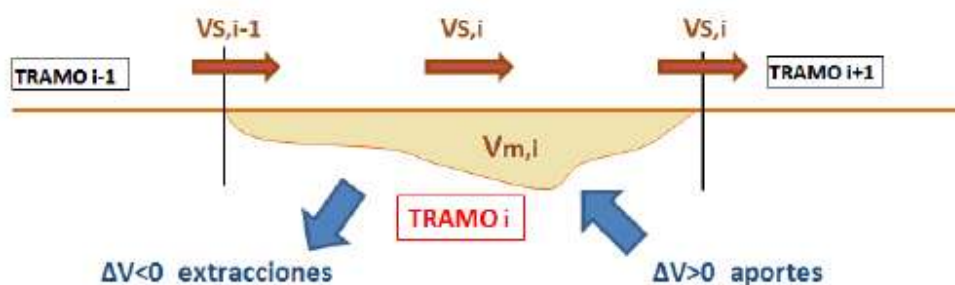


Figura 7. Esquema del sistema de Balance

Cuando se realiza el balance de uno de los tramos se debe de tener en cuenta solamente el volumen movilizado longitudinalmente, el de los transversales no se incluyen en las pérdidas de sedimentos.

Las entradas y salidas al sistema que encontramos dentro de la unidad fisiográfica de la zona de estudio es la siguiente:

Entradas al sistema:

- Material procedente de Gandía.
- Erosión de los acantilados y plataformas de erosión.
- Sedimentos de origen fluvial durante episodios torrenciales.
- Aportes de origen antrópico. (Regeneraciones procedentes de dragados o machaqueo de áridos)
- Volumen procedente de erosión dunar.

En cuanto a la erosión de los acantilado y plataformas rocosas no se dispone de suficiente información batimétrica de la zona durante un periodo amplio que nos aporte una información fiable sobre la erosión que se ha producido durante el transcurso de los años en esta zona, no se tendrá presente en el estudio del balance como entrada.

Salida del sistema:

- Perdidas transversales.
- Extracción antrópica en cauces y playas.

Los volúmenes de sedimentos considerados en el balance que se va a realizar son:

- Volúmenes erosionados medidos entre dos años consecutivos.
- Volúmenes erosionados de los cordones dunares como consecuencia de la regresión de la costa.
- Volúmenes de aportes y extracciones de naturaleza fluvial y antrópica.

Para el balance de la zona se han tenido en cuenta los volúmenes extraídos y aportados en las actuaciones costeras que se han ido realizando diferenciando las zonas de extracción y de vertido haciendo un reparto uniforme. La información sobre estas actuaciones se ha obtenido de las Demarcaciones de Costas de Valencia y de Alicante (histórico de obras Capítulo 2.5 Evolución Histórica de la Línea de costa y Capítulo 3.3 Dinámica Litoral).

Todos los aportes procedentes de la erosión de los sistemas dunares se han estimado de forma visual mediante la inspección de fotografías realizadas entre 1956-2012. Se ha establecido una cota de coronación de los cordones en 1956 de +5,00 m y una cota de pie de +2,50 m, para la cubicación. Para incorporar los volúmenes erosionados en el sistema se ha considerado que se produce una erosión uniforme de las dunas.

En la tabla adjuntada a continuación se puede observar tanto las aportaciones como las extracciones que se han ido ejecutando en el periodo de tiempo que se ha establecido para el estudio del balance.

	APORTES Y EXTRACCIONES (m3/año)						
	Pto Oliva-Río Vedat	río Vedat-río 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

Figura 8. Aportes y extracciones totales anuales por tramo y periodo

La variación de volumen se realiza a partir de las variaciones de superficies medidas en el ELC, en el cual se ha estimado una altura del perfil activo de 7,5 m (profundidad de cierre de 6 m y altura de playa activa de 1,5 m).

	$\Delta V_m (m^3)$						
Periodos	Pto Oliva-Rio Vedat	rio Vedat-rio Racons	Racons-espigón Deveses	Deveses-Rio 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	---

Figura 9. Variación del volumen medio anual por tramo y periodo en el ELC.
(Positivos acreción y negativos erosión)

En la tabla se puede observar que la playa de Les Marines, la cual se encuentra dentro del tramo destacado en azul, históricamente se ha tratado de un tramo erosivo.

Para laminar los posibles errores que quedan implícitos en la metodología de restitución de la línea de orilla, como se puede ver en la tabla anterior, el transporte se encuentra promediado en intervalos temporales. Se considera positivo el transporte en dirección NW-SE y negativo el SE-NW.

	Transporte (m3/año)						
Periodos	Pto Oliva-Rio Vedat	rio Vedat-rio Racons	Racons-espigón Dev	Deveses-Rio 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

Figura 10. Transporte promediado temporalmente.

En esta tabla se puede observar perfectamente como se genera una inversión del flujo. Si nos centramos en nuestra zona de estudio que se encuentra dentro del Intervalo Els Molins-Pto. Denia, vemos como los valores negativos predominan sobre los positivos por lo que nos encontramos en una zona costera donde la resultante del flujo sería SE-NW. La zona donde se produce la inversión se encuentra en el primer tramo (Pto. Oliva-Rio Vedat).

Los valores que se obtienen mediante el estudio de ELC no se consideran exactas, sino más bien datos aproximados a la realidad. Para acercarse mas a la realidad se ajustan los valores de transporte obtenidos a una función de distribución Normal $Q_{ij}=N(\mu_{ij}, \sigma_{ij})$, donde i es cada uno de los tramos y j el intervalo temporal considerado. De esta forma se tiene en cuenta su variabilidad temporal y espacial debido a las limitaciones implícitas en la metodología de cálculo, la variabilidad del clima y la importancia de la componente transversal que no había sido incluida inicialmente en el sistema de Balance.

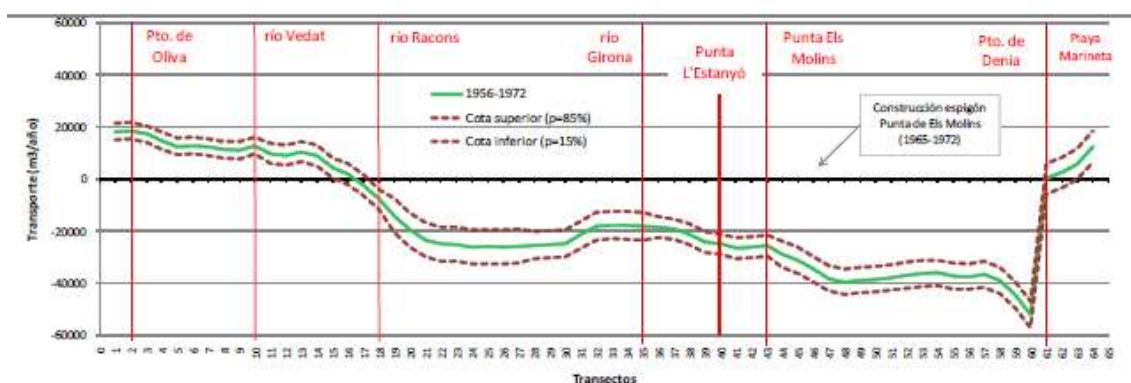
Desviación, σ_d	Puerto de Oliva - Río Vedat	Río Vedat - Río Racons	Río Racons - Espigón Les Deveses	Espigón Les Deveses - Río Girona	Río Girona - Punta de Els Molins	Punta de Els Molins - Puerto de Denia	Playa Marineta Casiana
1956-1972	3240	3899	6534	5269	3905	4966	5936
1972-1981	4207	6840	3699	8489	2329	6058	12240
1981-1996	6112	2752	4293	3421	10520	10490	1654
1996-2006	11640	16150	7444	4358	3449	10270	4605
2006-2012	7724	9582	1872	3198	4538	8021	6584

Figura 11. Desviaciones estándar en los intervalos

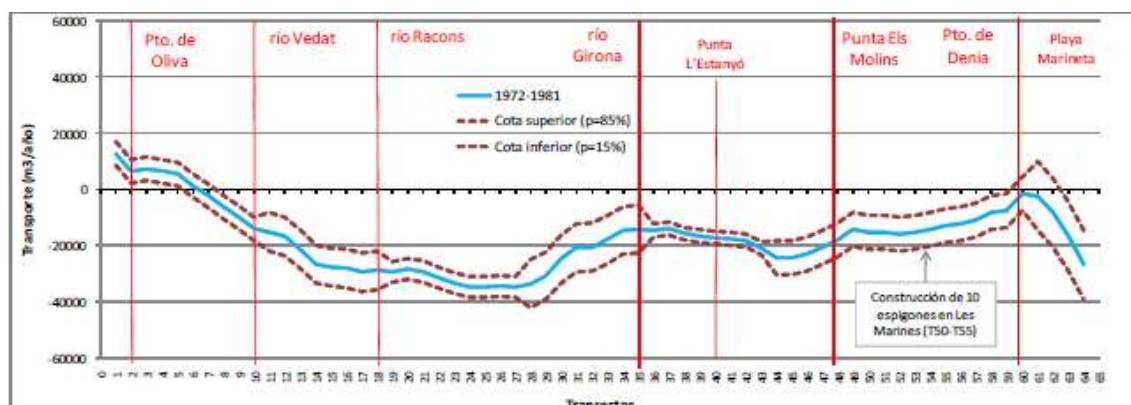
Las mayores desviaciones en relación al valor del transporte promediado por tramo de costa y periodo temporal, se producen en los periodos y tramos en se ejecutaron actuaciones de regeneración de la costa.

Mediante este ajuste se asigna una banda de confianza del sedimento movilizado, donde la cota superior de esta banda esta asociada a una probabilidad de excedencia del 85%.

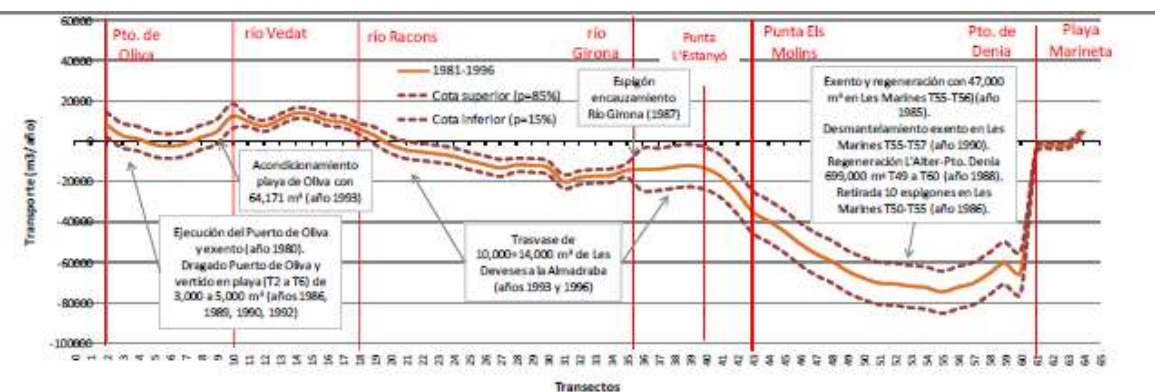
En las siguientes imágenes adjuntadas se puede observar las leyes de transporte en cada periodo de estudio con las bandas de confianza con probabilidades de no excedencia de los valores de transporte anuales promediados $p=15\%$ y $p=85\%$.



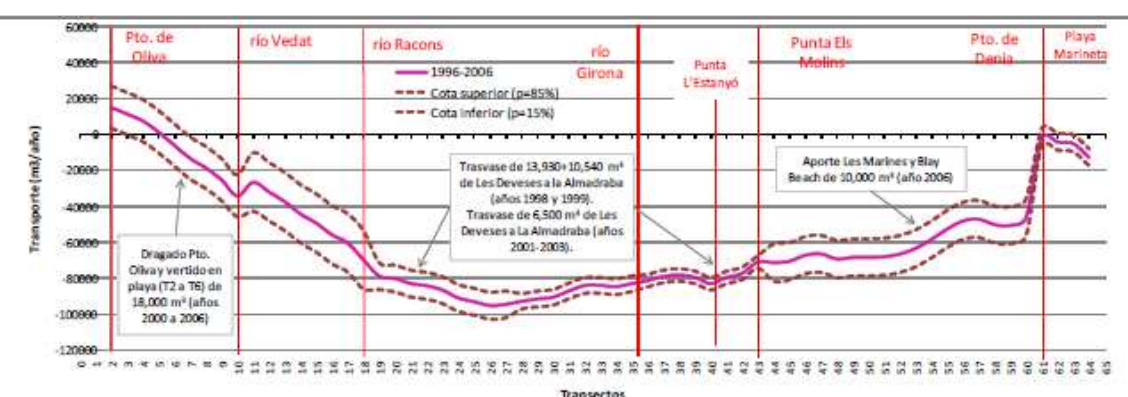
Periodo 1956-1972



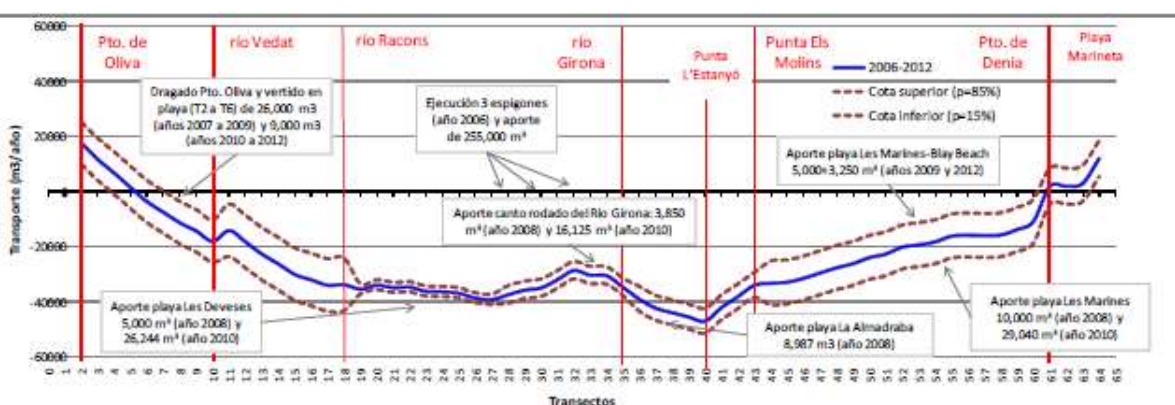
Periodo 1972-1981



Periodo 1981-1996



Periodo 1996-2006



Periodo 2006-2012

Observando las imágenes anteriores se llega a la conclusión de que la costa de Denia se ha mostrado históricamente como deficitaria. Donde resaltan los problemas en la zona de Les Marines-Blay Beach, ya que la situación es alarmante.

Se debe de recordar que la metodología de estimación de las tasas de transporte solo se tiene en consideración la componente longitudinal, sin considerar la transversal. Sin embargo, en la

zona sobre la que se está haciendo el estudio la orientación de la costa en relación a la dirección de los oleajes incidentes, donde se debe destacar el procedente de NE, existe una componente transversal que debe de considerarse. Por lo tanto, el estudio realizado nos aporta unos datos de transporte superiores a los que realmente se están dando en la costa de Denia.



Figura 12. Tasas de transporte neto en el periodo 1956-1981



Figura 13. Tasas de transporte neto en el periodo 2006-2012

Solamente se representan estos dos periodos porque se trata de los periodos mas fiables. El periodo 1956-1981 es anterior a la mayor parte las actuaciones y el último periodo 2006-2012, consta de menos errores de georreferenciación para la estimación de las variaciones de la costa.

7. ANALISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA

Antes de calcular el transporte que tenemos en esta zona es importante ver la evolución que ha tenido la costa en los últimos años, para ello se va a utilizar las fotos proporcionada por Google Earth.

Para ver de forma más detallada la evolución de la costa en la playa de Les Marines se va a dividir la zona de estudio en tres tramos. Que son los siguientes:

- Año 2002
- Año 2009
- Año 2020



Figura 14. Primer Tramo playa de Les Marines. Fuente: Google Earth

Como se puede observar en la imagen se trata de un tramo bastante estable, el cual a medida que pasan los años esta adaptando una línea de costa sin cambios bruscos de dirección. Si se observa la líneas de los años 2002 y 2009 se puede ver como los espigones que en la actualidad se encuentran fuera de servicio generaban acumulaciones de material, formado pequeñas playas entre ellos. Sin embargo, estos espigones en la actualidad su función es casi nula y no interrumpen el paso del material transportado por la corriente litoral, generando una línea de costa mucho más homogénea.



Figura 15. Segundo Tramo Playa de Les Marines. Fuente: Google Earth

Este tramo de playa se trata de un tramo mas conflictivo que el mostrado anteriormente. Se puede ver perfectamente en la imagen adjuntada que la línea de costa en los últimos años llega literalmente a la altura de las viviendas situadas en primera línea de playa. Este problema se ha tratado de solucionar con aporte de arena puntuales a esta zona de conflicto. Se debe de tener en cuenta que este problema se agrava en la temporada invernal, cuando llegan marejadas mas fuertes de lo normal, causando defectos en las viviendas que se sitúan en esta zona.



Figura 16. Tercer Tramo Playa de Les Marines. Fuente: Google Earth

En este tramo se vuelve a una zona bastante estable en la que la línea de costa ha cambiado muy poco a lo largo de los años. Frente al espigón exento se puede observar que con los pasos de los años se han perdido algunos metros de playa, esto se debe a que ese espigón no es funcional.



8. REFERENCIAS

- https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-publica/190520_eia_denia_girona_unificado_tcm30-498060.pdf