



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Dinámica de desembocaduras en ambientes micromareales

Trabajo realizado por:

Victoria Roig Echegaray

Dirigido por:

AGUSTIN SANCHEZ-ARCILLA CONEJO y VICENTE GRACIA GARCIA

Grado en:

Ingeniería Civil

Barcelona, 15 de junio de 2018

DECA, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

TRAJO FINAL DE GRADO

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mi tutor, Vicenç Gracia, por guiarme durante el trabajo y los conocimientos que me ha transmitido. Además, me gustaría también agradecer a mi familia, por el apoyo incondicional y aguantar mis buenos y malos momentos a lo largo de este camino.

RESUMEN

Título: Dinámica de desembocaduras en ambientes micromareales

Autora: VICTORIA ROIG ECHEGARAY

Tutor: AGUSTIN SANCHEZ-ARCILLA CONEJO y VICENTE GRACIA GARCIA

Palabras clave: ríos, movimiento sedimento, oleaje, desembocadura

La dinámica de desembocaduras en el paisaje litoral catalán es un fenómeno muy importante e interesante para analizar. El mar Mediterráneo es un ambiente micromareal y el oleaje tiene unas características muy concretas. Además, los ríos de Cataluña también muestran un carácter muy determinado, estacional y torrencial. El resultado del balance de flujos de agua y sedimentos terrestres que provienen del río y del efecto sobre el litoral del mar, principalmente el transporte del sedimento longitudinal a la costa da lugar a una apertura o cierre de las desembocaduras. La combinación de todos estos factores provoca una incertidumbre y difícil gestión de las playas y es por esto que este trabajo tiene como objetivo analizar este balance de flujos terrestre y marino, y establecer un modelo de comportamiento para la costa catalana.

Un análisis exhaustivo de los caudales y oleaje seleccionando los ríos más representativos para el estudio, se ha podido estudiar el inicio del movimiento del sedimento en cada caso tanto para ríos como para oleaje en la costa de cada desembocadura. Finalmente, se ha podido ver cuando había una tendencia clara a un dominio de la desembocadura por parte del agua que baja por el río hasta el mar o por parte del oleaje frente a la desembocadura.

De las conclusiones extraídas se destaca que muchos parámetros contribuyen a esta dinámica tan característica. Es decir, el estudio ha tenido en cuenta en la medida posible las acciones que condicionan la apertura o cierre, pero cierto es que hay mucha incertidumbre y son difícilmente medibles, como en el caso de la intervención del ser humano en las desembocaduras. También se ha concluido que existe un patrón de comportamiento estacional en todos los ríos estudiados.

ABSTRACT

Title: River mouths dynamics in microtidal environments

Author: VICTORIA ROIG ECHEGARAY

Supervisor: AGUSTIN SANCHEZ-ARCILLA CONEJO and VICENTE GRACIA GARCIA

Key words: rivers, sediment transport, swell, river mouth

River mouth dynamic in the Catalan littoral landscape is a very important and interesting phenomena to analyze. The Mediterranean Sea is a microtidal scenario and the train of waves has a very particular and peculiar behavior. Moreover, rivers in Cataluña also show a very typical behavior, torrential and seasonal. The result of water flow and terrestrial sediments coming from the rivers and the sea effect on the littoral coast, mainly longshore sediment transport, gives place to an opening or closing of the river mouth. The combination of these factors leads to an uncertainty and difficulty to manage beaches. Therefore, the aim of this report has the purpose of analyzing this balance of terrestrial and maritime flow and establish a behavior pattern for the Catalan coast.

A thorough analysis of river flows and waves has been done, previously selecting which rivers where more representative. It has also been studied the initiation of movement of sediment in each case both for rivers and waves in front of the mouth river coast. Finally, it has been seen when there is a clear tendency to dominate the river mouth from the water of the river that gets to the sea or from the waves in front of the mouth.

From the conclusions extracted after the study, it can be outlined that a lot of parameters contribute to this peculiar dynamic. Meaning that the analysis has considered, to the extent possible, actions that contribute to determine the opening or closure of the mouth, but the truth is that there is a lot of uncertainty around them and some are very difficult to measure, such as, the intervention of humans in the river mouths. Another conclusion is that there is a pattern of seasonal behavior in all the studied rivers.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 MOTIVACIÓN	11
1.2 ANTECEDENTES	11
1.3 OBJETIVOS	11
1.4 ESTRUCTURA	12
2. EL PAISAJE LITORAL CATALÁN	13
2.1 TIERRA	13
2.2 MAR	17
3. ANÁLISIS DE CONDICIONES DE INICIO AL MOVIMIENTO	18
3.1 CONDICIÓN DE INICIO DEL MOVIMIENTO EN RÍOS	18
3.2 CONDICIÓN DE INICIO DEL MOVIMIENTO POR OLEAJE	22
4. RÉGIMEN HIDRÁULICO SINTÉTICO	29
4.1 FUENTES DE INFORMACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS	29
4.2 RÍOS	33
4.2.1 SECTOR GIRONA	33
4.2.2 SECTOR BARCELONA	35
4.2.3 SECTOR TARRAGONA	37
4.3 MAR	39
4.3.1 SECTOR GIRONA	39
4.3.2 SECTOR BARCELONA	41
4.3.3 SECTOR TARRAGONA	44
5. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO TEÓRICO DE DESEMBOCADURA	46
5.1 TRATAMIENTO DE LOS DATOS	46
5.2 RÍOS	47
5.2.1 SECTOR GIRONA	47
5.2.2 SECTOR BARCELONA	49
5.2.3 SECTOR TARRAGONA	51
5.3 MAR	53

5.3.1	SECTOR GIRONA	53
5.3.2	SECTOR BARCELONA	55
5.3.3	SECTOR TARRAGONA	57
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
7.	CONCLUSIONES	74
8.	REFERENCIAS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: LOS RÍOS DE CATALUÑA HTTPS://DREU1975.WORDPRESS.COM/2014/10/06/EL-RELLEU-DE-CATALUNYA/	13
FIGURA 2: ESQUEMA DE LAS FUERZAS DESESTABILIZADORAS Y ESTABILIZADORAS EN EL CURSO DE UN RÍO (INGENIERÍA DE RÍOS, JP MARTÍN VIDE)	19
FIGURA 3: DIAGRAMA DE SHIELDS (COASTAL ENGINEERING MANUAL)	21
FIGURA 4: DISTINTAS VELOCIDADES EN LA COLUMNA DE AGUA DE UN RÍO (INGENIERÍA DE RÍOS, MARTÍN VIDE, JP)	22
FIGURA 5: ASOMERAMIENTO DE UN FRENTE DE OLAS (OLEAJE, UNIVERSIDAD DE CORUÑA)	24
FIGURA 6: CAMBIO DE DIRECCIÓN DEL OLEAJE (INGENIERIA DE COSTES, UPC)	26
FIGURA 7: DIAGRAMA DE SHIELDS MODIFICADO (COASTAL ENGINEERING MANUAL)	27
FIGURA 8: ESTACIONES DE AFORO DISPONIBLES EN EL APPLICATIVO DEL ACA	29
FIGURA 9: PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE PARÁMETROS A CONSULTAR (ACA)	30
FIGURA 10: CONSULTA DE DATOS HISTÓRICOS DEL OLEAJE (PUERTOS DEL ESTADO)	30
FIGURA 11: DISPOSICIÓN DE LOS DATOS DEL OLEAJE PARA PROCEDER A LA PROPAGACIÓN	31
FIGURA 12: RESULTADOS OBTENIDOS DESPUÉS DE LA PROPAGACIÓN DE LOS DATOS DE OLEAJE	32

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PLAYAS DONDE DESEMBOCA CADA RÍO	16
TABLA 2: DIÁMETRO D50 DE CADA PLAYA	17
TABLA 3: DISTINTAS ZONAS DE AGUAS	23
TABLA 4: DESGLOSE DEL MODELO TEÓRICO	71
TABLA 5: CÓDIGOS DEL MODELO TEÓRICO DE CADA RÍO ESTUDIADO	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA MENSUAL A LO LARGO DEL AÑO DEL RÍO MUGA	33
GRÁFICO 2: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA MENSUAL A LO LARGO DEL AÑO DEL RÍO FLUVIÀ	33
GRÁFICO 3: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA MENSUAL A LO LARGO DEL AÑO DEL RÍO TER	34
GRÁFICO 4: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA MENSUAL A LO LARGO DEL AÑO DEL RÍO TORDERA	35
GRÁFICO 5: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA MENSUAL A LO LARGO DEL AÑO DEL RÍO BESÒS	35
GRÁFICO 6: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA MENSUAL A LO LARGO DEL AÑO DEL RÍO LLOBREGAT	36
GRÁFICO 7: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA MENSUAL A LO LARGO DEL AÑO DEL RÍO GAIÀ	37
GRÁFICO 8: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA MENSUAL A LO LARGO DEL AÑO DEL RÍO FRANCOLÍ	37
GRÁFICO 9: VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA MENSUAL A LO LARGO DEL AÑO DEL RÍO EBRO	38

GRÁFICO 10: COMPARATIVA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS ANUALES DE LOS RÍOS ESTUDIADOS	39
GRÁFICO 11: FRECUENCIA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MUGA	39
GRÁFICO 12: FRECUENCIA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO FLUVIÀ	40
GRÁFICO 13: FRECUENCIA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO TER	40
GRÁFICO 14: FRECUENCIA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO TORDERA	41
GRÁFICO 15: FRECUENCIA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO BESÒS	42
GRÁFICO 16: FRECUENCIA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO LLOBREGAT	42
GRÁFICO 17: FRECUENCIA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO FOIX	43
GRÁFICO 18: FRECUENCIA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO GAIÀ	44
GRÁFICO 19: FRECUENCIAS DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO FRANCOLÍ	44
GRÁFICO 20: FRECUENCIA DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO EBRO	45
GRÁFICO 21: PORCENTAJE DE VELOCIDADES DEL RÍO MUGA QUE SUPERAN LA VELOCIDAD CRÍTICA	47
GRÁFICO 22: PORCENTAJE DE VELOCIDADES DEL RÍO FLUVIÀ QUE SUPERAN LA VELOCIDAD CRÍTICA	47
GRÁFICO 23: PORCENTAJE DE VELOCIDADES DEL RÍO TER QUE SUPERAN LA VELOCIDAD CRÍTICA	48
GRÁFICO 24: PORCENTAJE DE VELOCIDADES DEL RÍO TORDERA QUE SUPERAN LA VELOCIDAD CRÍTICA	49
GRÁFICO 25: PORCENTAJE DE VELOCIDADES DEL RÍO BESÒS QUE SUPERAN LA VELOCIDAD CRÍTICA	49
GRÁFICO 26: PORCENTAJE DE VELOCIDADES DEL RÍO LLOBREGAT QUE SUPERAN LA VELOCIDAD CRÍTICA	50
GRÁFICO 27: PORCENTAJE DE VELOCIDADES DEL RÍO GAIÀ QUE SUPERAN LA VELOCIDAD CRÍTICA	51
GRÁFICO 28: PORCENTAJE DE VELOCIDADES DEL RÍO FRANCOLÍ QUE SUPERAN LA VELOCIDAD CRÍTICA	51
GRÁFICO 29: PORCENTAJE DE VELOCIDADES DEL RÍO EBRO EN EL QUE SE SUPERAN LAS VELOCIDADES CRÍTICAS	52
GRÁFICO 30: PORCENTAJE DE VECES AL MES EN QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD DEL OLEAJE (LA MUGA)	53
GRÁFICO 31: PORCENTAJE DE VECES AL MES QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD DEL OLEAJE (EL FLUVIÀ)	53
GRÁFICO 32: PORCENTAJE DE VECES AL MES QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD DEL OLEAJE (EL TER)	54
GRÁFICO 33: PORCENTAJE DE VECES AL MES QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD DEL OLEAJE (LA TORDERA)	55
GRÁFICO 34: PORCENTAJE DE VECES AL MES QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD DEL OLEAJE (EL BESÒS)	55
GRÁFICO 35: PORCENTAJE DE VECES AL MES QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD EL OLEAJE (EL LLOBREGAT)	56

GRÁFICO 36: PORCENTAJE DE VECES AL MES QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD DEL OLEAJE (FOIX)	56
GRÁFICO 37: PORCENTAJE DE VECES AL MES QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD DEL OLEAJE (EL GAIÀ)	57
GRÁFICO 38: PORCENTAJE DE VECES AL MES QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD DEL OLEAJE (EL FRANCOLÍ)	58
GRÁFICO 39: PORCENTAJE DE VECES AL MES QUE LA VELOCIDAD CRÍTICA ES SUPERADA POR LA VELOCIDAD DEL OLEAJE (EL EBRO)	58
GRÁFICO 40: COMPORTAMIENTO DEL OLEAJE FRENTE A LA DESEMBOCADURA DE LOS RÍOS ANALIZADOS A LO LARGO DEL AÑO	59
GRÁFICO 41: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (LA MUGA)	60
GRÁFICO 42: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (LA MUGA)	61
GRÁFICO 43: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL FLUVIÀ)	62
GRÁFICO 44: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL FLUVIÀ)	62
GRÁFICO 45: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL TER)	63
GRÁFICO 46: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL TER)	63
GRÁFICO 47: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL TORDERA)	64
GRÁFICO 48: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (LA TORDERA)	64
GRÁFICO 49: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL BESÒS)	65
GRÁFICO 50: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL BESÒS)	65
GRÁFICO 51: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL LLOBREGAT)	66
GRÁFICO 52: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL LLOBREGAT)	66
GRÁFICO 53: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL FOIX)	67
GRÁFICO 54: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL FOIX)	67
GRÁFICO 55: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL GAIÀ)	68
GRÁFICO 56: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL GAIÀ)	68
GRÁFICO 57: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL FRANCOLÍ)	69
GRÁFICO 58: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL FRANCOLÍ)	69
GRÁFICO 59: DISTRIBUCIÓN BOX PLOT DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL EBRO)	70
GRÁFICO 60: DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES MEDIAS DEL OLEAJE (EL EBRO)	70

1. INTRODUCCIÓN

Las playas están en constante movimiento y cambio debido a la acción de diferentes efectos/dinámicas. Éstos son, por ejemplo, el oleaje, corrientes o viento. Existen numerosos modelos teóricos que predicen la evolución y el comportamiento de las playas siempre haciendo numerosas hipótesis e imponiendo simplificaciones.

Las desembocaduras son importantes porque representan la conexión dinámica entre tierra y mar. Si la desembocadura es la de un río grande puede ser navegable, por ejemplo, y si es un río pequeño habrá un dinamismo de apertura y cierre que dará lugar a agua estancada o conexiones internas.

La costa catalana es bien conocida por sus procesos litorales y en concreto por su difícil gestión de la evolución. Además, los numerosos ríos y rieras que desembocan en el Mar Mediterráneo juegan un papel crucial siendo éste un ambiente micro mareal y que por tanto las mareas no tienen tanta influencia como el oleaje o los ríos.

Otra característica del litoral catalán son las rieras, especialmente en la costa del Maresme. Es un fenómeno muy característico de esta zona y que siempre da lugar a problemas de gestión de la costa. Si bien es cierto, su difícil gestión se debe a la dificultad de caracterizar las dinámicas que rigen su comportamiento. En época de lluvias o, mejor dicho, según la época del año, verano o invierno, tanto los ríos como las rieras llevan un caudal u otro. Es más, las desembocaduras formadas por las desembocaduras de éstos pueden estar abiertas o cerradas según la estación del año. Diversos factores determinan la apertura o no de estas desembocaduras, principalmente la dinámica entre el mar (oleaje) y la intensidad del caudal con el que bajan los ríos.

En cuanto a la gestión de las playas de la costa catalana la determinación de esta dinámica de desembocaduras puede ser esencial. Es por esto que este trabajo de final de grado quiere contribuir a la ayuda del estudio de este funcionamiento del litoral.

El objetivo de este trabajo de fin de grado es estudiar es analizar este balance entre flujos terrestres y marinos y establecer un modelo de comportamiento para la costa catalana. En concreto, la dinámica de desembocaduras de los principales ríos y rieras en un ambiente micro mareal como es el caso del mar Mediterráneo.

Para ello, se quiso realizar un modelo del comportamiento de las desembocaduras y a la vez del movimiento longitudinal a la costa causado por el oleaje. Primero se hizo un análisis del inicio del movimiento de sedimento en la desembocadura del río, encontrando así una velocidad crítica a partir de la cual el río abre la desembocadura. Por otro lado, se estudió el oleaje que da lugar al movimiento del sedimento en el fondo del mar y que por tanto contribuye a cerrar las desembocaduras y a depositar sedimento en las playas.

Se han recolectado datos de la ACA para los caudales de los ríos y también se ha consultado en la página web de Puertos del Estado para recoger datos del oleaje de los últimos años en la costa catalana para luego ordenarlos e homogeneizar todo el grueso de datos que se obtuvieron.

Posteriormente se ha estudiado la interacción entre ambas fuerzas para poder sacar conclusiones en cuanto a la apertura o cierre de las desembocaduras a lo largo del año. De esta manera se han podido sacar hechos en claro y otros que quedan más inciertos debido a la dificultad de caracterizar esta dinámica (diversas aproximaciones se han hecho para facilitar los cálculos).

Finalmente, se ha intentado sacar un pronóstico para lo que parece que va a pasar en el futuro con el cambio climático en forma de aplicación y conclusión del estudio realizado en este trabajo.

2. EL PAISAJE LITORAL CATALÁN

2.1 TIERRA

Para comenzar a entender bien esta dinámica, se puede estudiar el paisaje litoral catalán como un todo, en general. Como se ha comentado antes, el paisaje litoral catalán es de muy difícil gestión y hoy en día hay ríos con características muy diferentes. Esto quiere decir que muchos de los ríos principales han estado modificados por el hombre y que por tanto su comportamiento puede que se tenga que tratar como caso aparte. Más adelante, cuando se estudie cada caso por separado ya se tratará cada uno con sus particularidades y se añadirán los comentarios u observaciones que sean convenientes. Cabe destacar que esta variedad y diversidad de casos es la que da lugar a un trabajo de este tipo. Es decir, si fuese un caso donde todo es parecido y homogéneo, probablemente este estudio no tendría mucho sentido y sería visiblemente más sencillo.

Sobre todo, se han estudiado ríos de gran envergadura o muy modificados por el hombre, como es el caso de los ríos Besòs, Llobregat y Ebro, y otros muy estacionales o torrenciales, como son el caso de los ríos del Maresme. Estos últimos son los que tienen más interés para el estudio que nos ocupa, ya que los otros no se comportan de manera natural y su desembocadura es artificial de algún modo u otro. Sin embargo, podrá ser interesante cual sería el comportamiento “teórico” de éstos.

En la *ilustración 1* se muestran los ríos analizados en este trabajo:

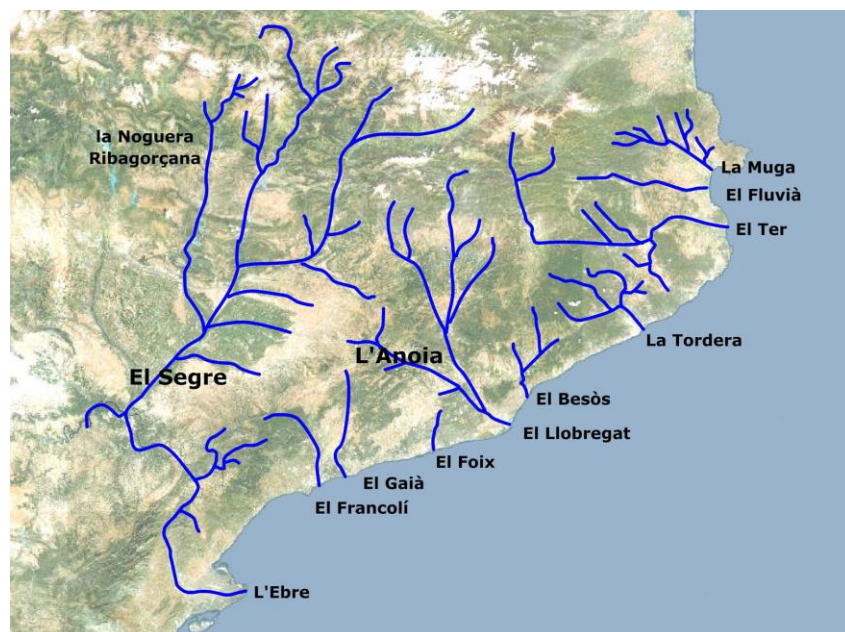


Figura 1: Los ríos de Cataluña <https://dreu1975.wordpress.com/2014/10/06/el-relleu-de-catalunya/>

La Muga es el primer río que desemboca en la costa catalana, con unos 58Km de recorrido será uno de los interesantes para el análisis ya que seguramente habrá épocas del año en las que su desembocadura esté cerrada completamente (o no).

El Fluvià, con unos 70 Km de longitud, también será parecido, en cuanto a comportamiento, con la Muga.

El Ter, en cambio, es un río con mucha más presencia y por tanto importancia en el paisaje catalán. Es, junto con el Llobregat, los ríos más largos que nacen y mueren en Cataluña tiene una longitud de 167 Km hasta desembocar en Pals.

El Tordera es un río de muy poca longitud pero que sin embargo su desembocadura es muy interesante para tener en cuenta y ver cómo se comporta. Muchas veces está incluso considerada como riera.

Tanto la riera de Pineda como la de Arenys, deben ser tratadas de forma distinta. Se podría casi afirmar que requieren un estudio aparte, debido a su carácter torrencial y estacional. Sin embargo, este estudio servirá como una primera aproximación que puede resultar bastante interesante.

El Besòs, con 53 Km de recorrido, es un tipo de río de los mencionados anteriormente, han sido tratados por el hombre. Esto quiere decir que se ha canalizado y que por tanto su desembocadura siempre va a estar abierta. A pesar de esto, se ha creído oportuno estudiar qué ocurriría en el hipotético caso en el que el río no estuviese canalizado.

El Llobregat, también ocurre lo mismo que en el Besòs, es un río con mucha importancia en el litoral catalán, por la situación geográfica en la que se encuentra. Además, ha sido incluso más modificado por el humano, se ha corregido el recorrido final del río (de una longitud total de 162 Km), modificando su desembocadura. Igualmente, se tendrá en cuenta en este estudio.

El Foix, es un río también muy pequeño (41 Km) que prácticamente siempre está cerrado durante la mayor parte del tiempo. Será interesante ver si hay algún momento del año en que sí esté abierto.

El Gaià también es un río del mismo tipo que el Foix, más bien pequeño y con carácter de riera a veces. Tiene una longitud aproximada de 59 Km de recorrido.

El Francolí es el último de éstos tres ríos de tipología menor. Tiene 60 Km de recorrido y en cuanto a comportamiento de desembocadura también tiene un carácter muy estacional.

Por último, el río Ebro (910 Km) también se estudiará a pesar de ser muy distinto, en cuanto a magnitud, por ejemplo, y de existir numerosos estudios sobre su comportamiento y sobre todo el comportamiento del delta del Ebro.

De estos ríos seleccionados se estudiarán los caudales anuales medios (datos que se hayan podido encontrar) y también se tendrán en cuenta los caudales estacionales. De esta manera, se podrá distinguir en qué época del año hay más tendencia a que la desembocadura esté abierta o cerrada. Es cierto que se puede intuir o incluso ya se sabe más o menos cuándo va a abrir o cerrarse la desembocadura, después de muchos años gestionando las playas se conoce un poco el comportamiento de éstas. Sin embargo, este estudio permitirá tener una aproximación más exacta de los procesos que se dan e incluso una confirmación.

En la búsqueda de datos sobre los caudales con los que los ríos llegan al mar, se han encontrado gran variedad de datos. Muchos de ellos hay datos desde hace muchos años y de todos los meses del año, en cambio, otros solamente tienen datos medios anuales y solamente de pocos años. Es por esto, que se ha uniformizar lo máximo posible los datos siempre intentando no desvirtuar los resultados del estudio. En el caso de las rieras que se quieren analizar, los datos de caudales diarios son nulos, y que por tanto a medida que avanzaba el estudio se ha decidido tratarlas aparte.

Después de la recogida de datos del caudal del río, se quiere analizar el tamaño de sedimento de las playas. Se necesita este dato porque se podría decir que determina la fuerza con la que el agua tiene que bajar para mantener abierta la desembocadura y lo mismo para la parte de la fuerza necesaria de oleaje. Para recolectar estos datos se ha consultado el *Llibre Verd de Catalunya* en el cual hay un estudio y descripción rigurosa de todas las playas de la costa catalana. En concreto, el dato buscado ha sido el diámetro d50 del sedimento. Para luego buscar el diámetro de la arena de la playa se han enumerado, en la *Tabla 1*, las playas en las cuales desembocan cada uno de los ríos estudiados:

RÍO	PLAYA
La Muga	Playa de Empuriabrava
El Fluvià	Playa de Sant Pere Pescador
El Ter	Playa de la Fonollosa
El Tordera	Playa de Malgrat Norte
La Riera de Pineda	Playa del Tordera
La Riera de Arenys	Playa de la Picordia
El Besòs	Playa del Fórum
El Llobregat	Playa de la Ricarda
El Foix	Playa Mota de Sant Pere
El Gaià	Playa de Altafulla
El Francolí	Puerto de Tarragona
El Ebro	Delta del Ebro

Tabla 1: Playas donde desemboca cada río

De modo que queda la *Tabla 2* resume la siguiente información de cada río:

	Diámetro sedimento d50 (m)	Densidad sedimento (kg/m3)
<i>La Muga</i>	0.00044	2650
<i>El Fluvià</i>	0.00023	2650
<i>El Ter</i>	0.00033	2650
<i>El Tordera</i>	0.001806	2650
<i>La Riera de Pineda</i>	0.000906	2650
<i>La Riera de Arenys</i>	0.00042	2650
<i>El Besòs</i>	0.001878	2650

<i>El Llobregat</i>	0.000309	2650
<i>El Foix</i>	0.000146	2650
<i>El Gaià</i>	0.000267	2650
<i>El Francolí</i>	0.000183	2650
<i>El Ebro</i>	0.0002	2650

Tabla 2: Diámetro d50 de cada playa

2.2 MAR

Por otro lado, también se analizará el movimiento longitudinal a la costa debido al oleaje del mar. Para ello, se recolectará información de las boyas instaladas en la costa (o no muy cerca de la costa) que hay en la página web de puertos del estado.

El oleaje, al igual que el caudal de los ríos, se caracteriza por su comportamiento estacional. Además, hay gran cantidad de transporte de sedimento a lo largo de la costa. Para realizar este estudio se ha realizado una zonificación a gran escala de la costa coincidiendo con las provincias litorales de Cataluña, Girona, Barcelona y Tarragona. Además, otra clasificación que se hará para sectorizar cada zona es teniendo en cuenta la morfología de la costa. Estos sectores serán:

- Provincia de Girona: sector Costa Brava
- Provincia de Barcelona: sectores Maresme, Barcelona y Garraf
- Provincia de Tarragona: sectores Vilanova-Tarragona, Tarragona-Cap Roig y delta del Ebro

3. ANÁLISIS INICIO DEL MOVIMIENTO

En esta parte se han analizado las condiciones a partir de las cuales el agua del río o del mar comienza a mover el fondo, ya sea de la playa o de la desembocadura del río. Con los caudales de los ríos seleccionados para el estudio se puede estimar cuándo la desembocadura estará abierta o cerrada. Es decir, cuándo el caudal que baja por el río es lo suficientemente fuerte como para mover y arrastrar el sedimento de la playa. Cabe destacar que los caudales recolectados son de estaciones que no están exactamente en la desembocadura del río y que por tanto será aproximado. Además, no hay datos de todos los años, meses y días del año de todos los ríos, como ya se ha mencionado anteriormente.

Otra de las dificultades para realizar este análisis es la sección del río en la desembocadura. No es simple encontrar datos de éstas y los datos hallados son aproximados porque el nivel del agua del río no siempre es el mismo. Es decir, para deducir la velocidad del agua tenemos el caudal mensual (con todos los datos diarios recolectados) de cada caso, pero el área dependerá del calado en cada mes. Está claro que cada día, e incluso cada hora, el nivel va variando y la sección de agua que baja por el río cambia. Por tanto, la aproximación que se hace para cada sección es bastante distorsionadora, siendo ésta una de las aproximaciones que “desvirtúa” más este estudio.

En el caso del oleaje, se tiene información de tres boyas y cada río se le ha asignado una de ellas por proximidad. Además, desde el punto de vista del cálculo de la altura de ola que llega a la costa, cada río tiene una orientación de la costa en su desembocadura. La orientación de la costa introducida también es un dato aproximado y no exacto, cosa que también puede contribuir a una pequeña distorsión de los resultados.

Dicho esto, se procede a explicar la teoría tanto de movimiento de sedimento del río como movimiento longitudinal a la costa debido al oleaje.

3.1 CONDICIÓN DE INICIO DEL MOVIMIENTO EN RÍOS

De la parte de la hidráulica de ríos nos ha interesado investigar el inicio al movimiento. La acción de una corriente de agua sobre el lecho del río desplazará partículas por la fuerza de arrastre del agua. Conocer en qué condiciones ocurre este fenómeno es precisamente el Inicio de Movimiento del fondo.

Estas condiciones han sido estudiadas ampliamente y el resultado más utilizado y conocido universalmente es aquel dado por el investigador *Albert Shields* en 1936, con el uso del *Diagrama de Shields*. También conocido y nombrado *Ábaco de Shields*, relaciona la acción del agua con el diámetro de las partículas del lecho del río en cuestión.

La acción del agua sobre el lecho puede expresarse mediante la tensión de corte τ_o . Por otra parte, la partícula va a presentar una resistencia al arrastre, a ser movida, que se puede caracterizar mediante su peso específico sumergido $(\gamma_s - \gamma)$ y el diámetro D de ésta. Finalmente, se obtiene el valor de la tensión de corte adimensional:

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma)D} \quad (1)$$

Donde:

γ_s : peso específico del sedimento

γ : peso específico del agua

D : diámetro 50 (d_{50}) del sedimento

Este parámetro, es al fin y al cabo la comparación o relación entre las fuerzas desestabilizadoras, la acción de arrastre proporcional a $\tau_o D^2$ y la fuerza estabilizadora que está representada por la fuerza de peso proporcional a $(\gamma_s - \gamma)D^3$.

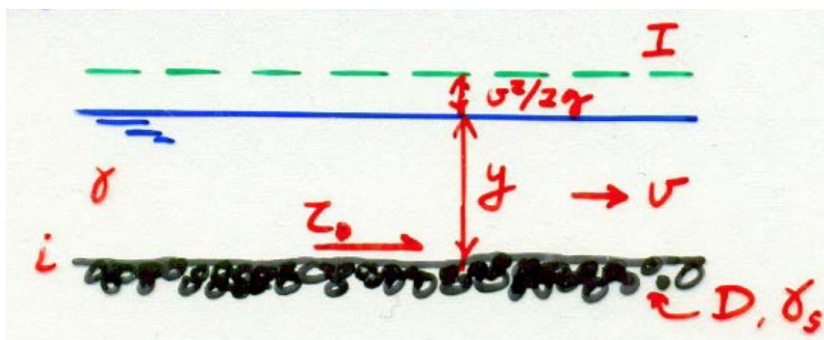


Figura 2: Esquema de las fuerzas desestabilizadoras y estabilizadoras en el curso de un río (Ingeniería de Ríos, JP Martín Vide)

Por otro lado, la acción del agua sobre el fondo puede caracterizarse también por una velocidad de corte v^* . Que a la vez se relaciona con la tensión de corte como muestra la ecuación (2):

$$v^* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} \rightarrow \tau_o = \rho \cdot v^{*2} \quad (2)$$

Donde:

τ_o : tensión de corte

ρ : densidad del sedimento

v^* : velocidad de corte

Cierto es que muchas veces se define la velocidad de corte con el radio hidráulico y la pendiente del río como en la *ecuación (3)*:

$$\tau_o = \gamma \cdot R_H \cdot S \quad (3)$$

Pero en el caso que nos ocupa nos será mucho más útil la primera igualdad, ya que tenemos menos datos en cuanto a las características de forma del río y nos desvirtuaría aún más los resultados.

Volviendo al *Diagrama de Shields (Figura 2)*, en el eje de ordenadas encontraremos el parámetro adimensional de Shields definido más arriba y en el eje de abscisas se encuentra el número de Reynolds. Éste es otro parámetro adimensional y refleja la relación entre las fuerzas de inercia y viscosas alrededor de una partícula:

$$Re = \frac{v^* D}{\nu} \quad (4)$$

Donde:

Re : número de Reynolds

v^* : velocidad de corte

ν : viscosidad cinemática del agua

D : diámetro de partículas

Por tanto, la relación entre estos dos parámetros queda reflejada en la *figura 2*:

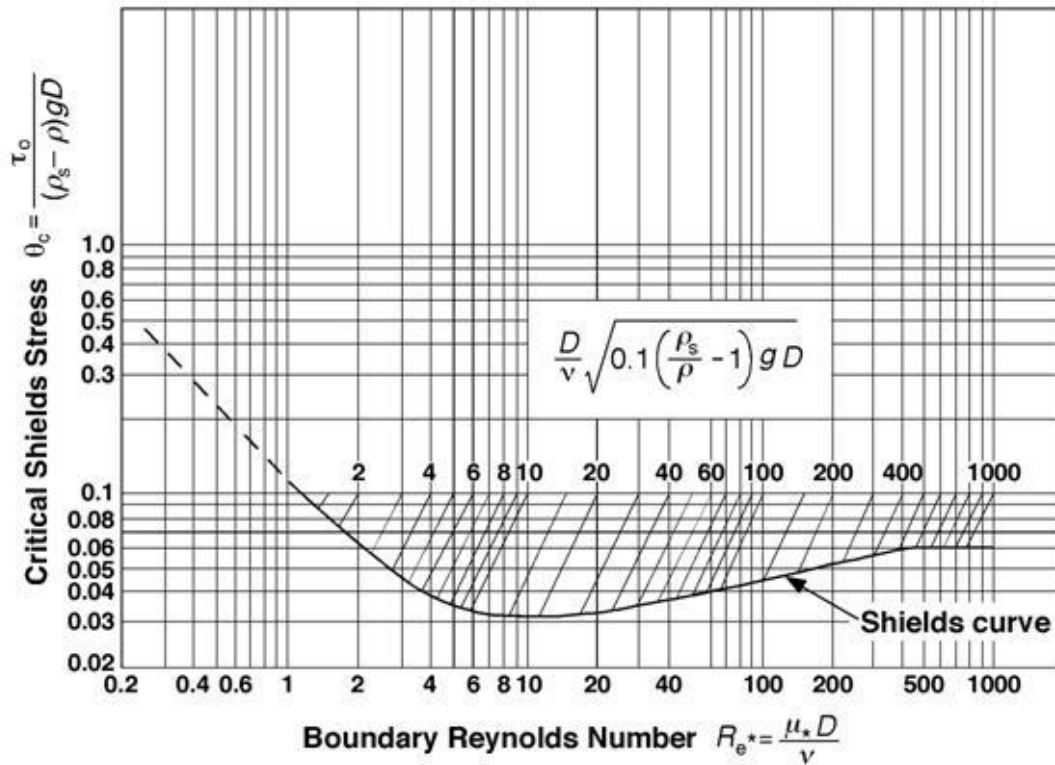


Figura 3: Diagrama de Shields (Coastal Engineering Manual)

La llamada *Curva de Shields* separa el movimiento del reposo. Se ha establecido de manera más o menos universal, hay diferentes opiniones al respecto, que el umbral a partir del cual se inicia el movimiento es para un parámetro de Shields adimensional, $\bar{\tau}$, igual a 0.056. Y que, por tanto, se puede razonar que la tensión de corte a partir de la cual empieza el movimiento de las partículas del lecho está definida en la *ecuación (5)*:

$$(\tau_o)_{cr} = 0.056 (\gamma_s - \gamma)D \quad (5)$$

Si $(\tau_o)_{cr} < \tau_o \rightarrow$ se dará movimiento de fondo

Justamente será este umbral (5) el que utilizaremos para estudiar nuestro caso y para ello necesitamos una ecuación que nos relacione la velocidad de corte crítica (v_{cr}^*) con la velocidad media crítica (v_{cr}), ya que la información obtenida de los caudales de los ríos se refiere a velocidad media del agua que baja por el río. El siguiente esquema representado en la figura 3 muestra esta diferencia de velocidades en los distintos niveles de agua de un río:

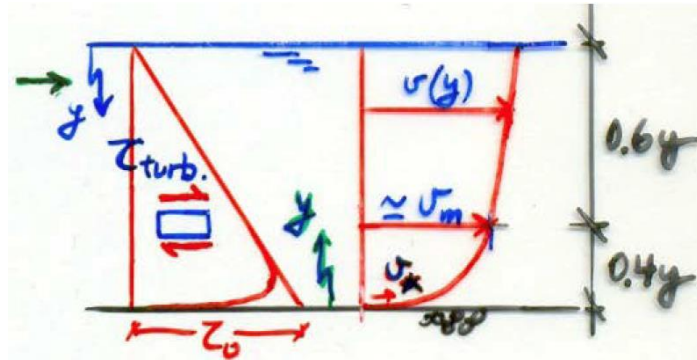


Figura 4: Distintas velocidades en la columna de agua de un río
(Ingeniería de ríos, Martín Vide, JP)

Esta velocidad de corte se podría decir que es la que se da justo por encima del lecho (tal como se muestra en la *figura 4*), pero la velocidad media en todo el calado es diferente. La relación entre ellas (velocidades en el calado del río) se pueden expresar como se indica en la *ecuación (6)*:

$$\frac{v}{v^*} = 8 \cdot \left(\frac{y}{D_{50}} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (6)$$

Donde:

v : velocidad media del agua

v^* : velocidad de corte

y : calado

D_{50} : diámetro del sedimento del río

Por tanto, juntando estos datos se podrá calcular una velocidad de corte crítica a partir de la cual empieza el movimiento de las partículas del lecho de cada río estudiado y se podrá calcular la velocidad crítica que a su vez también se podrá comparar con las velocidades recolectadas de cada río para distintas épocas del año.

3.2 CONDICIÓN DE INICIO DEL MOVIMIENTO POR OLEAJE

Una vez analizado cual es el inicio del movimiento en la desembocadura de los ríos, se procede a analizar qué ocurre con el sedimento transportado longitudinalmente a las playas. El sedimento depositado en la costa tenderá a ser movido en dirección paralela a las playas a causa del oleaje típico de la zona. Se tienen datos del oleaje en tres puntos de la costa catalana, Tarragona, Barcelona y el Cabo de Begur y datos de cada hora de días durante varios años. Se tiene el periodo de la onda, T_p , y la altura de ola significativa, H_s , que habrá que propagar para

obtener el dato que nos interesa, H_b (altura en rotura) y $H_{rms,b}$. Éste último se utilizará para calcular la velocidad media y a partir de ahí, compararla con la velocidad crítica que mueve las partículas. Este movimiento tenderá a desplazar la arena de la playa en sentido longitudinal a la costa y que, por tanto, tenderá a cerrar o mejor dicho impedir la apertura de la desembocadura del río que se esté estudiando.

Para la propagación del oleaje se ha utilizado un programa ejecutable .exe, sin embargo, antes se debe entender la teoría y el porqué de la necesidad de propagar estos datos obtenidos.

PROPAGACIÓN LINEAL DEL OLAJE:

Existen tres zonas diferenciadas por las que pasa una ola hasta llegar a la costa y se caracterizan o diferencian por el cambio en la profundidad. A estas tres zonas se les llama: aguas profundas, aguas intermedias y aguas someras (shallow). El límite entre una y otra se caracteriza con el cociente h/L , donde h es la altura de ola y L la separación entre dos crestas consecutivas de olas (longitud de onda) (Tabla 3).

Dominio	h/L
<i>Aguas profundas</i>	$> 1/2$
<i>Aguas intermedias</i>	$\frac{1}{25} - \frac{1}{2}$
<i>Aguas someras</i>	$< 1/25$

Tabla 3: Distintas zonas de aguas

Cuando una ola penetra en profundidades intermedias, se produce un cambio de altura de ola debido al cambio de celeridad (velocidad de la propagación de la ola), de la velocidad, que a la vez también se debe a la disminución de la profundidad. En aguas intermedias ocurre la transformación gradual del perfil del oleaje, explicada en el siguiente párrafo. Esta variación de la altura de ola al variar la profundidad es una consecuencia de la conservación del flujo de energía. A este proceso se le llama asomeramiento (*shoaling*).

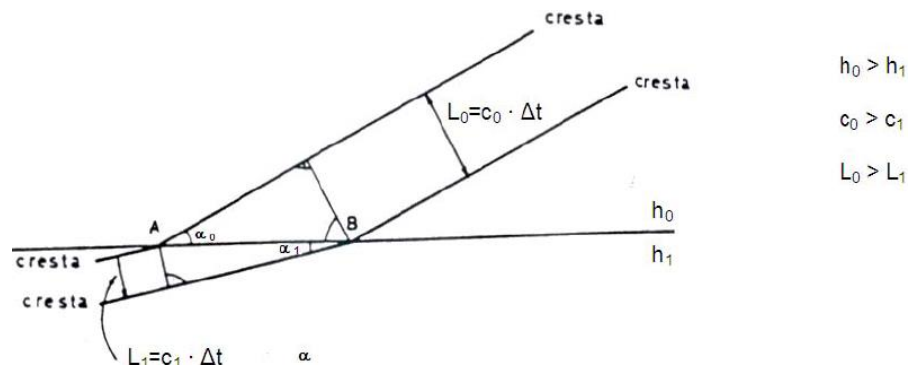


Figura 5: Asomeramiento de un frente de olas (Oleaje, Universidad de Coruña)

Además, un frente de olas que se acerca con cierto ángulo a una playa, una parte del frente decelerará de forma diferente que otro. Esto resultará en un cambio de la dirección de propagación del oleaje y este proceso se le llama refracción del oleaje.

La altura de la ola se obtiene a partir de:

$$H_2 = H_0 \cdot K_r \cdot K_s \quad (7)$$

Donde:

H_2 : altura de la ola una vez propagada

H_0 : altura de la ola en aguas profundas

K_r : coeficiente de refracción

K_s : coeficiente de asomeramiento (shoaling)

Los coeficientes de refracción y asomeramiento se obtienen de las expresiones:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (8)$$

$$K_s = \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}} \quad (9)$$

Donde:

C_g : celeridad de grupo

α : dirección del oleaje

Las expresiones anteriores se basan en la teoría sinusoidal del oleaje, con la conservación del flujo de energía, y en la ley de Snell. La ley de Snell viene dada por la siguiente definición:

$$\frac{\sin \alpha}{L} = \frac{\sin \alpha_0}{L_0} \quad (10)$$

Las expresiones e igualdades a partir de las cuales se obtienen estos coeficientes son:

$$C_g = c \cdot n \quad (11)$$

$$c = \frac{L}{T} \quad (12)$$

(Airy 1800's):

$$L = \frac{g T^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (13)$$

Donde:

c : celeridad de la ola

L : longitud de onda

T : periodo de la ola

k : número de olas

h : profundidad

Para el caso de aguas profundas las ecuaciones se simplifican de manera considerable:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (14)$$

$$Cg_0 = \frac{c_0}{2} = \frac{L_0}{2T} = \frac{gT}{4\pi} \quad (15)$$

Este esquema dibujado en la *figura 5* muestra este flujo de energía que se conserva y cómo el frente de oleaje cambia de dirección al acercarse a la costa:

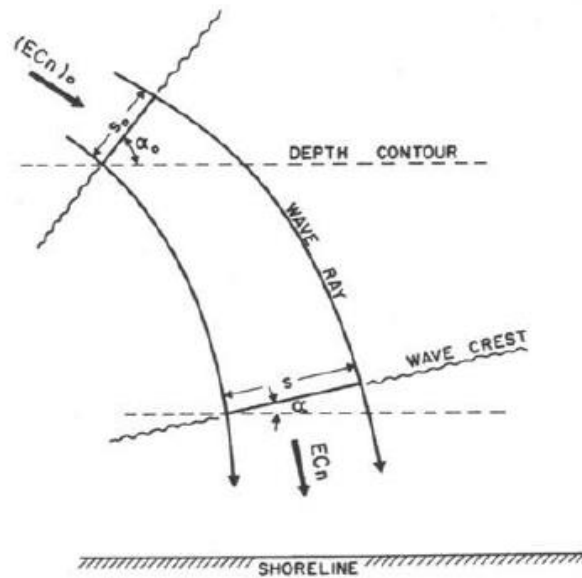


Figura 6: Cambio de dirección del oleaje (Enginyeria de Costes, UPC)

La ola propagada que nos interesará será:

$$H_b = h_b \cdot \gamma \quad (16)$$

Donde:

$$\gamma: \text{índice de rotura} = \begin{cases} 0.78 \text{ olas regulares} \\ 0.5 - 0.65 \text{ olas irregulares} \end{cases}$$

Por tanto, en las expresiones anteriores H sería sustituida por H_b .

Por último, se debe definir la relación:

$$H_{max} = 1.8 H_s \quad (17)$$

Donde:

H_s : altura de ola significativa

Una vez explicada la teoría de propagación de oleaje se procede a propagar los datos del oleaje que se han recogido. Como ya se ha mencionado antes esta propagación se hace con un ejecutable en el cual se han programado estas ecuaciones y que por tanto da como resultado la altura de rotura y la dirección de la ola también en rotura.

Sin embargo, es necesaria una velocidad con la que comparar la velocidad crítica a partir de la cual se daría el movimiento de fondo longitudinal a la playa. *Komar and Inman (1970)* obtuvo una expresión de V_{mid} para corriente longitudinal en profundidades intermedias basadas en relaciones para evaluar el transporte de arena longitudinal a la costa. La expresión dada por *Komar (1979)* fue:

$$V_{mid} = 1.17 \sqrt{g H_{rms,b}} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (18)$$

Donde:

g : gravedad

$H_{rms,b}$: altura de ola media cuadrática

α_b : dirección de la ola propagada

Tras la propagación el dato obtenido de la altura de ola es H_b , y que por tanto se deberá transformar a $H_{rms,b}$ para poder calcular la velocidad en esa zona. La relación es la siguiente:

$$H_s = \sqrt{2} H_{rms} \quad (19)$$

Ahora, se procede a calcular la velocidad crítica a partir de la cual hay movimiento de sedimento. Este umbral crítico será parecido al mismo de los ríos, la teoría de Shields también sirve para el mar, sin embargo, se puede utilizar el Diagrama de Shields Modificado ilustrado en la *figura 6*.

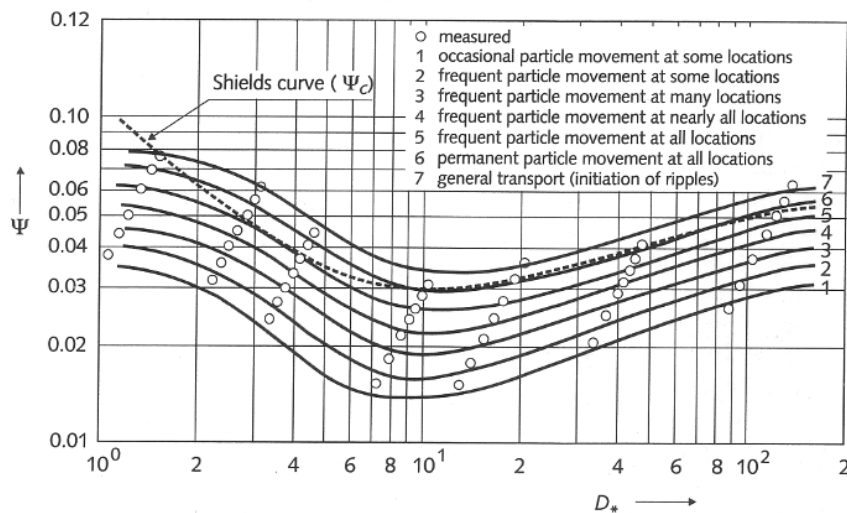


Figura 7: Diagrama de Shields modificado (Coastal Engineering Manual)

En este cálculo están involucrados los mismos parámetros que se han utilizado para el cálculo de la velocidad crítica en ríos. El diámetro del sedimento de la playa será el mismo y la densidad del sedimento siempre ha sido igual a 2650 Kg/m^3 . Además se vio que para ciertos valores de s^* (D_* en la *figura 6*) el cálculo de la tensión de corte de Shields era directa y que por tanto la velocidad crítica también podía ser calculada directamente. La condición es la siguiente:

Si:

$$s^* < 0.8 \rightarrow \theta_{cr} = 0.1 s^{*\left(-\frac{2}{7}\right)}$$

Y una vez se tiene θ_{cr} , se puede calcular u_{cr} con la siguiente igualdad:

$$u_{cr} = \sqrt{(s - 1) g D} \sqrt{\theta_{cr}} \quad (20)$$

Siendo:

u_{cr} : velocidad crítica

s : ratio densidad sedimento/agua

g : gravedad m/s^2

D : diámetro del sedimento d_{50} (m)

θ_{cr} : Parámetro de Shields crítico

A partir de aquí, esta velocidad podrá ser tomada como punto de partida para comparar con la velocidad media del oleaje una vez propagado, justo en la desembocadura de cada río analizado.

4. RÉGIMEN HIDRÁULICO SINTÉTICO

En este apartado se pretende describir los cambios de caudal de los ríos seleccionados para el proyecto. Además también se analizará el oleaje en los tres puntos del mar seleccionados para el estudio para ver si hay una tónica de comportamiento que sigue una zona en concreto o sacar alguna relación interesante. De esta manera, se tendrá una idea general de cómo puede ser esta dinámica río – mar para luego entender mejor los resultados.

4.1 FUENTES DE INFORMACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

Los caudales se han extraído de la Agencia Catalana del Agua (ACA). Hay un apartado en la web donde pone consulta de datos, y ahí hay datos a tiempo real, bases cartográficas y una aplicación interactiva que es la que se ha consultado para obtener los caudales. Dentro de estas aplicaciones se consulta la aplicación de ríos y embalses para seleccionar las estaciones de aforo convenientes para cada río. En la *figura 8* se muestran las estaciones de aforo además de los otros parámetros de otros elementos consultables.

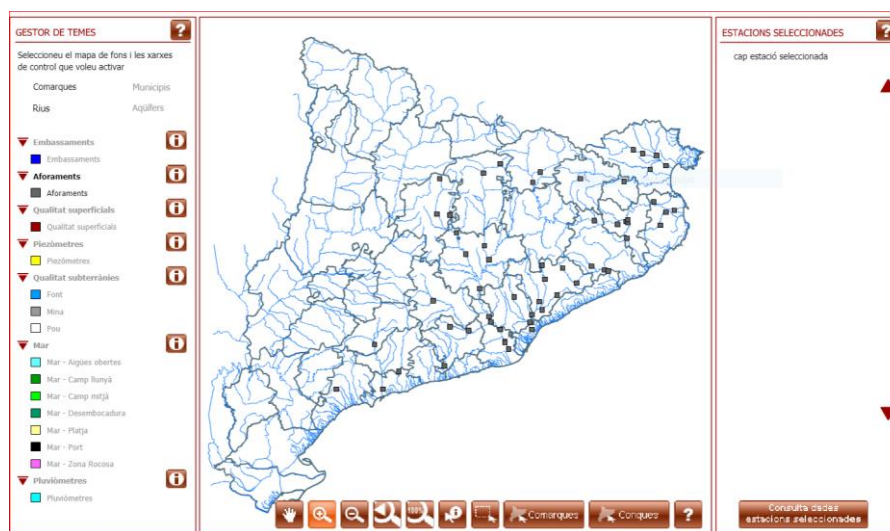
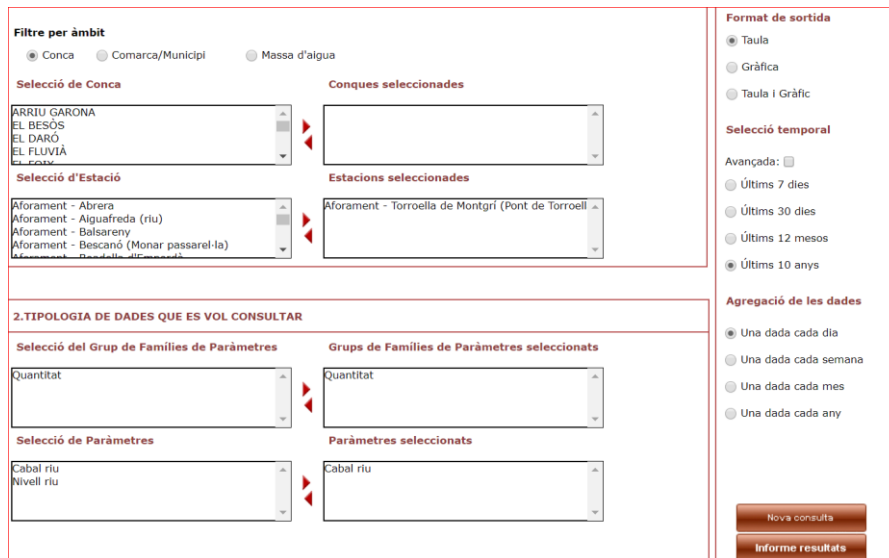


Figura 8: Estaciones de aforo disponibles en el aplicativo del ACA

Tal como se muestra en la *figura 9*, una vez seleccionada la estación se elige la familia de parámetros que se quiere consultar, en este caso cantidad, y a continuación el parámetro en concreto, en este caso el caudal del río. Además, también se selecciona si los datos se quieren en forma de tabla, gráfico o ambos. Finalmente, y parte que interesaba mucho en este estudio, la selección temporal. Se seleccionaron datos de los últimos 10 años y datos diarios del caudal del río.



The screenshot shows a web interface for data selection. It is divided into several sections:

- Filtre per àmbit:** Radio buttons for 'Conca', 'Comarca/Municipi', and 'Massa d'aigua'. 'Conca' is selected.
- Selecció de Conca:** A dropdown menu with options: ARRIU GARONA, EL BESÒS, EL DARÒ, EL FLUVIÀ, EL LLOBREGAT.
- Conques seleccionades:** An empty dropdown menu.
- Selecció d'Estació:** A dropdown menu with options: Aforament - Abrera, Aforament - Aiguafreda (riu), Aforament - Balsareny, Aforament - Bescanó (Monar passarel·la), Aforament - Badalona (Espot).
- Estacions seleccionades:** A dropdown menu with the option: Aforament - Torroella de Montgrí (Pont de Torroell).
- 2.TIPOLOGIA DE DADES QUE ES VOL CONSULTAR:**
 - Selecció del Grup de Famílies de Paràmetres:** A dropdown menu with the option: Quantitat.
 - Grups de Famílies de Paràmetres seleccionats:** A dropdown menu with the option: Quantitat.
 - Selecció de Paràmetres:** A dropdown menu with the option: Cabal riu.
 - Paràmetres seleccionats:** A dropdown menu with the option: Cabal riu.
- Format de sortida:** Radio buttons for 'Taula', 'Gràfica', and 'Taula i Gràfic'. 'Taula' is selected.
- Selecció temporal:** Radio buttons for 'Últims 7 dies', 'Últims 30 dies', 'Últims 12 mesos', and 'Últims 10 anys'. 'Últims 10 anys' is selected.
- Agregació de les dades:** Radio buttons for 'Una dada cada dia', 'Una dada cada setmana', 'Una dada cada mes', and 'Una dada cada any'. 'Una dada cada dia' is selected.
- Buttons:** 'Nova consulta' and 'Informe resultats'.

Figura 9: Procedimiento de selección de parámetros a consultar (ACA)

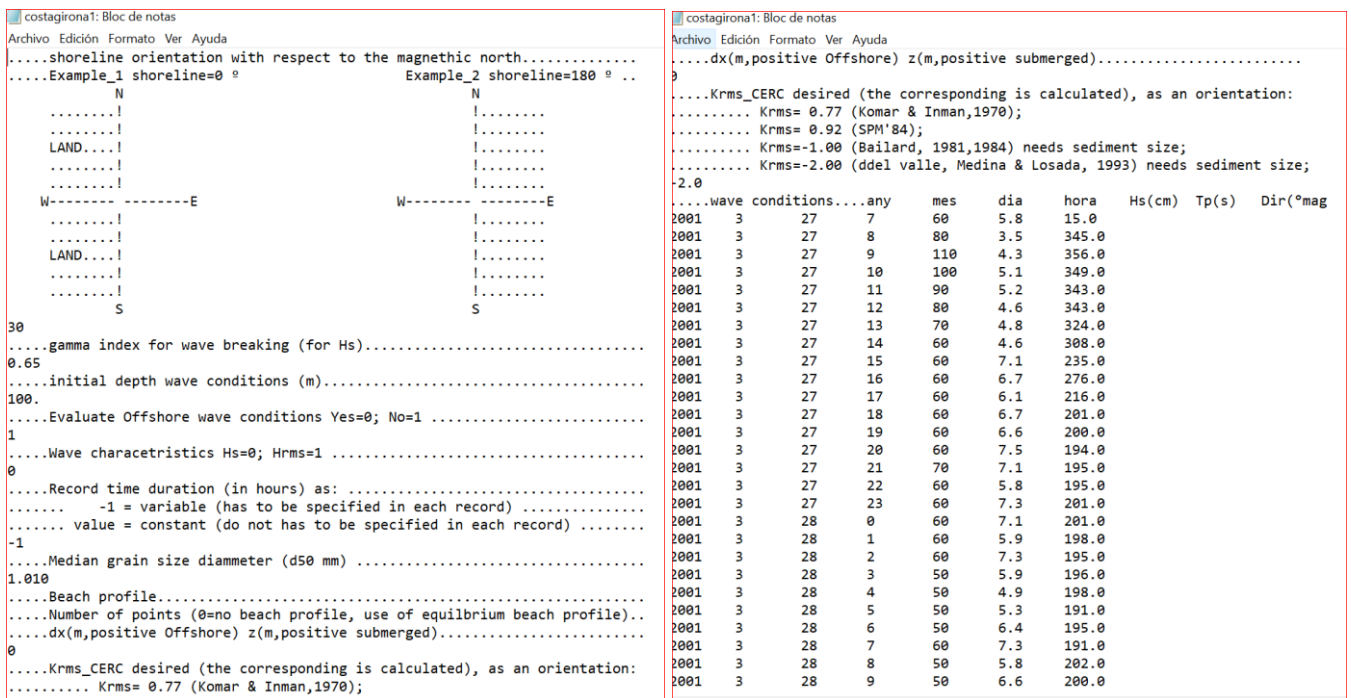
El informe de los resultados se puede descargar tanto en formato pdf como en tabla de Excel o exportar en un documento xml. Para el caso de consulta de datos del río Ebro se ha consultado la CHE en la sección de datos históricos de las estaciones de aforo. Con la descarga de la lista de estaciones de aforo se selecciona el código de la más cercana a la desembocadura, la estación de Tortosa y a continuación se selecciona el intervalo temporal y la frecuencia de los datos, igual que en el caso de las otras cuencas, se escogen datos diarios del caudal en m^3/s .

La fuente de información para los datos del oleaje en la costa se obtiene consultando los datos obtenidos de las boyas gestionadas por Puertos del Estado. En el apartado de oceanografía existe la posibilidad de consultar datos históricos del oleaje y muestra las boyas disponibles de consulta (figura 10).



Figura 10: Consulta de datos históricos del oleaje (Puertos del Estado)

Existen boyas de Tarragona, Barcelona y del Cabo de Begur, por lo cual, se han utilizado los datos de la boya del Cabo de Begur para los ríos cercanos a la zona, Muga, Fluvià y Ter, la boya de Barcelona para los ríos Tordera, Besòs, Llobregat y Foix, y la boya de Tarragona para los ríos Gaià, Francolí y Ebro. Para la descarga de los datos se eligen los parámetros necesarios del oleaje para más tarde poder propagar el oleaje y obtener una velocidad media en la desembocadura de los ríos y además se determina un intervalo de 10 años. Como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, después de la recolección de datos se procede a propagar. Es en este paso donde se introduce la orientación de la costa para cada zona de desembocadura de cada río en concreto, que hasta ahora los datos de las tres boyas eran los mismos. En la *figura 11* se muestran la introducción de los datos en el programa previo a la propagación de éstos:



```

costagirona1: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
.....shoreline orientation with respect to the magnetic north.....
.....Example_1 shoreline=0 ° Example_2 shoreline=180 ° ..
.....N N
.....! !
.....! !
LAND.....! !
.....! !
.....! !
W-----E W-----E
.....! !
.....! !
LAND.....! !
.....! !
.....! !
S S
30
.....gamma index for wave breaking (for Hs).....
0.65
.....initial depth wave conditions (m).....
100.
.....Evaluate Offshore wave conditions Yes=0; No=1 .....
1
.....Wave characteristics Hs=0; Hrms=1 .....
0
.....Record time duration (in hours) as: .....
-1 = variable (has to be specified in each record) .....
..... value = constant (do not has to be specified in each record) .....
-1
.....Median grain size diameter (d50 mm) .....
1.010
.....Beach profile.....
.....Number of points (0=no beach profile, use of equilibrium beach profile)..
.....dx(m,positive Offshore) z(m,positive submerged).....
0
.....Krms_CERC desired (the corresponding is calculated), as an orientation:
..... Krms= 0.77 (Komar & Inman,1970);

costagirona1: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
.....dx(m,positive Offshore) z(m,positive submerged).....
)
.....Krms_CERC desired (the corresponding is calculated), as an orientation:
..... Krms= 0.77 (Komar & Inman,1970);
..... Krms= 0.92 (SPM' 84);
..... Krms=-1.00 (Baillard, 1981,1984) needs sediment size;
..... Krms=-2.00 (ddel valle, Medina & Losada, 1993) needs sediment size;
-2.0
.....wave conditions....any mes dia hora Hs(cm) Tp(s) Dir(°mag
?001 3 27 7 60 5.8 15.0
?001 3 27 8 80 3.5 345.0
?001 3 27 9 110 4.3 356.0
?001 3 27 10 100 5.1 349.0
?001 3 27 11 90 5.2 343.0
?001 3 27 12 80 4.6 343.0
?001 3 27 13 70 4.8 324.0
?001 3 27 14 60 4.6 308.0
?001 3 27 15 60 7.1 235.0
?001 3 27 16 60 6.7 276.0
?001 3 27 17 60 6.1 216.0
?001 3 27 18 60 6.7 201.0
?001 3 27 19 60 6.6 200.0
?001 3 27 20 60 7.5 194.0
?001 3 27 21 70 7.1 195.0
?001 3 27 22 60 5.8 195.0
?001 3 27 23 60 7.3 201.0
?001 3 28 0 60 7.1 201.0
?001 3 28 1 60 5.9 198.0
?001 3 28 2 60 7.3 195.0
?001 3 28 3 50 5.9 196.0
?001 3 28 4 50 4.9 198.0
?001 3 28 5 50 5.3 191.0
?001 3 28 6 50 6.4 195.0
?001 3 28 7 60 7.3 191.0
?001 3 28 8 50 5.8 202.0
?001 3 28 9 50 6.6 200.0
    
```

Figura 11: Disposición de los datos del oleaje para proceder a la propagación

Finalmente el programa ejecutable proporciona los datos propagados con los que podemos trabajar y operar con las ecuaciones presentadas en el capítulo anterior y obtener una velocidad (*figura 12*):

SICERC_costagirona1.in: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

aa	mm	dd	hh	Hs	Tp	Dir	HsOff	DOff	Hb	Dirhb	hb	S1	
2001	3	27	7	0.60	5.8	15.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00000	0.00
2001	3	27	9	1.10	4.3	356.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00000	0.00
2001	3	27	11	0.90	5.2	343.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00000	0.00
2001	3	27	13	0.70	4.8	324.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00000	0.00
2001	3	27	15	0.60	7.1	235.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00000	0.00
2001	3	27	17	0.60	6.1	216.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00000	0.00
2001	3	27	19	0.60	6.6	200.0	0.60	200.0	0.38	133.1	0.58	-3282.56773	2001.00
2001	3	27	21	0.70	7.1	195.0	0.70	195.0	0.52	133.9	0.80	-7617.89728	2001.00
2001	3	27	23	0.60	7.3	201.0	0.60	201.0	0.38	131.8	0.58	-2964.62542	2001.00
2001	3	28	1	0.60	5.9	198.0	0.60	198.0	0.39	134.8	0.60	-3965.09128	2001.00
2001	3	28	3	0.50	5.9	196.0	0.50	196.0	0.36	134.0	0.55	-3036.74891	2001.00
2001	3	28	5	0.50	5.3	191.0	0.50	191.0	0.39	135.8	0.60	-4136.43524	2001.00
2001	3	28	7	0.60	7.3	191.0	0.60	191.0	0.51	133.1	0.78	-6817.08525	2001.00
2001	3	28	9	0.50	6.6	200.0	0.50	200.0	0.33	132.1	0.50	-2122.91963	2001.00
2001	3	28	11	0.60	3.5	279.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00000	0.00
2001	3	28	13	0.60	5.8	291.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00000	0.00

Figura 12: Resultados obtenidos después de la propagación de los datos de oleaje

Una vez se han descargado los datos y procesado se obtienen velocidades medias tanto del río en la desembocadura como del oleaje en la costa donde desemboca cada río. Hay diferencias en cuanto a la cantidad de datos dependiendo de la fuente y del río tratado que habrá que tener en cuenta al analizar los resultados. Es decir, hay días del año en los que no hay datos y que el resultado se expresa con un 0, influenciando en los resultados finales. Además, en el caso del río Foix no se han encontrado datos de los caudales mensuales o, en el caso del oleaje, los datos no solamente son diarios, sino que además se recoge un dato cada dos horas. Para tener una idea del régimen hidráulico se ha dividido en la parte terrestre y la parte marítima y a su vez en tres sectores y así facilitar su estudio.

Para el caso de los ríos se han cogido las velocidades obtenidas y se han graficado mensualmente, utilizando una media mensual (más adelante la media mensual no será nada útil pero para este primer estudio es suficiente). De esta manera se tendrá una idea aproximada del comportamiento y magnitud de cada río. Para el comportamiento del mar, se ha graficado un histograma con los rangos de velocidades medias y el porcentaje de velocidades que hay en cada rango. De este modo también se tendrá una idea de la uniformidad de los datos y de si hay algún comportamiento que siga alguna tónica específica.

Finalmente se han graficado las velocidades medias anuales (no tiene en cuenta el funcionamiento estacional) para cada río, tanto de la parte terrestre como de la parte marítima. Este gráfico tiene como objetivo tener una foto (en sentido figurado) y una visión más global aún más general de las diferentes magnitudes de los ríos estudiados.

4.2 RÍOS

4.2.1 SECTOR GIRONA

LA MUGA

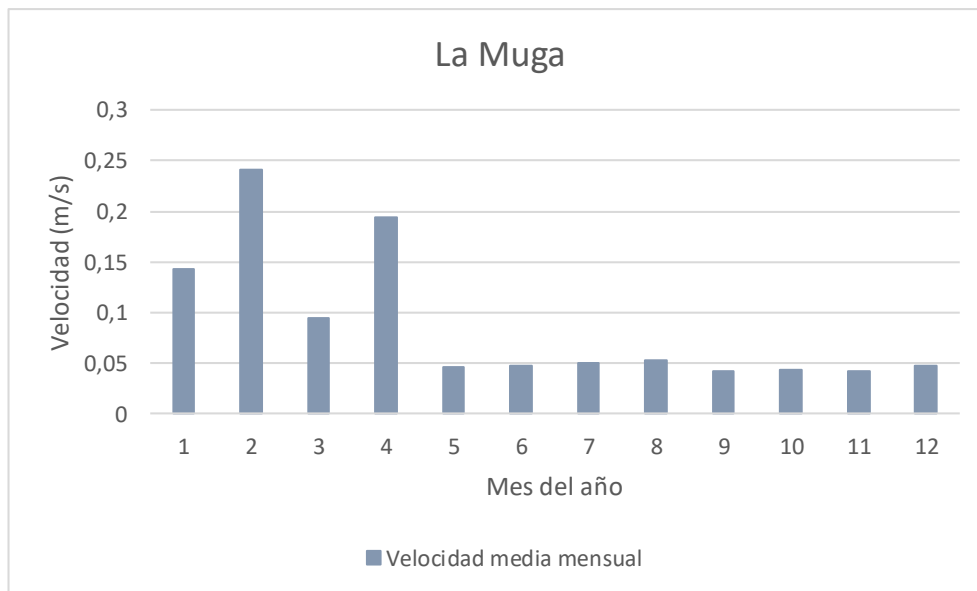


Gráfico 1: Variación de la velocidad media mensual a lo largo del año del río Muga

EL FLUVIÀ

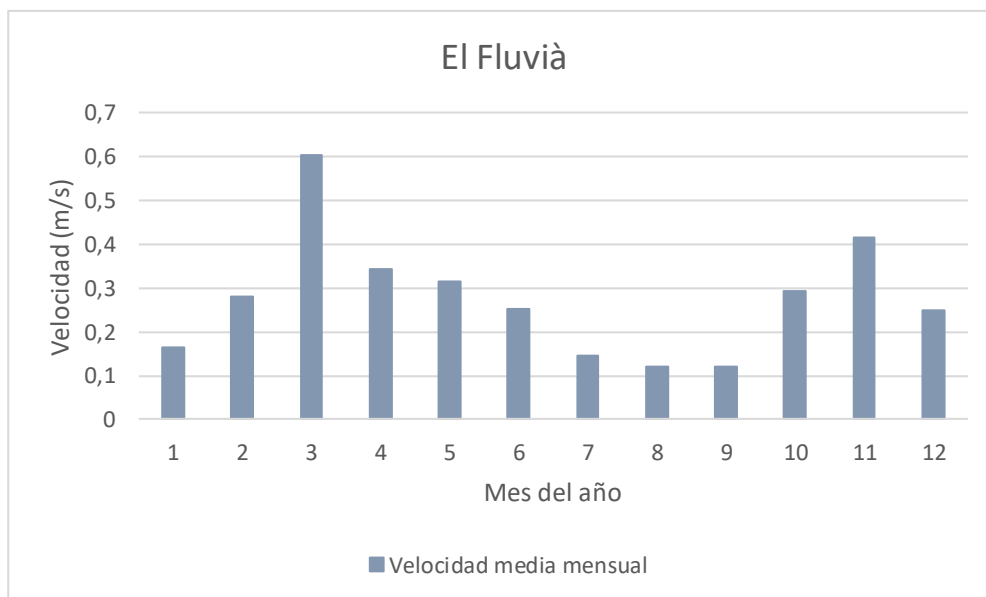


Gráfico 2: Variación de la velocidad media mensual a lo largo del año del río Fluvià

EL TER

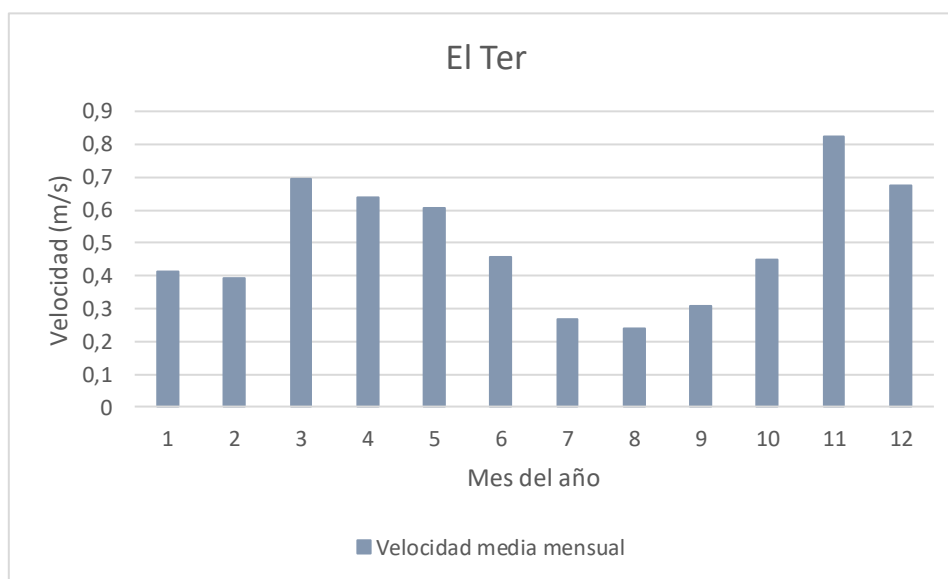


Gráfico 3: Variación de la velocidad media mensual a lo largo del año del río Ter

Primero en el estudio del régimen hidráulico del río Muga en el *gráfico 1* se ve como la variación de caudal a lo largo del año no es mucha. Como ya se ha mencionado anteriormente en los capítulos iniciales, la Muga no es un río muy grande y esto queda reflejado en el análisis. En los demás ríos estudiados se ve reflejada una variación de este caudal, hay una tónica más o menos establecida de comportamiento. Sin embargo, al ser un río tan pequeño, como queda reflejado más adelante comparando con los demás ríos en el *gráfico 10* en la comparativa de magnitudes, este comportamiento no acaba de cumplirse. Con este comportamiento nos referimos a caudales más elevados durante los meses de invierno y lo contrario en verano.

El río Fluvià es un río mayor a la Muga. De hecho, del *gráfico 10* se extrae que está en el rango superior en cuanto a río caudaloso. Se podría decir que está en el mismo nivel o parecido rango de importancia que el Llobregat, el Ter y el Besòs. Del *gráfico 2* se deduce que hay un comportamiento estacional en el que los meses de marzo y noviembre el río baja con una velocidad mayor, coincidiendo con las épocas de más lluvias. Este tipo de funcionamiento se repetirá de manera más o menos parecida en el resto de ríos como ya se ha especulado anteriormente (excepto como se acaba de ver con La Muga).

El Ter es el río justo por detrás del Ebro en cuanto a velocidad media anual, como se extrae del *gráfico 10*. Además, en el *gráfico 3* vemos reflejado este comportamiento estacional del río en los que los meses más caudalosos son los de marzo, noviembre y diciembre.

4.2.2 SECTOR BARCELONA

LA TORDERA

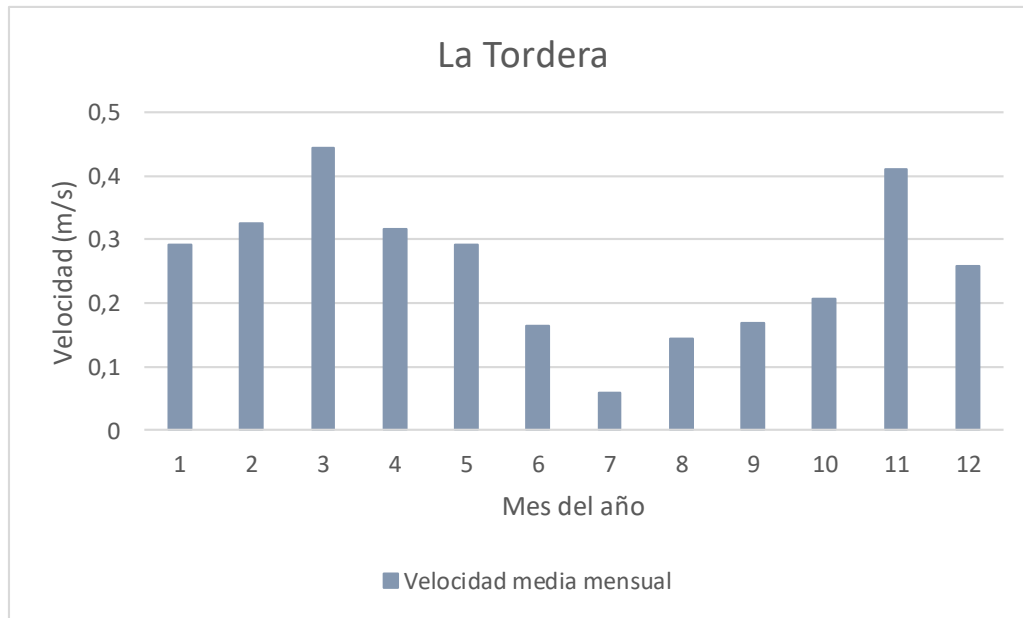


Gráfico 4: Variación de la velocidad media mensual a lo largo del año del río Tordera

EL BESÒS

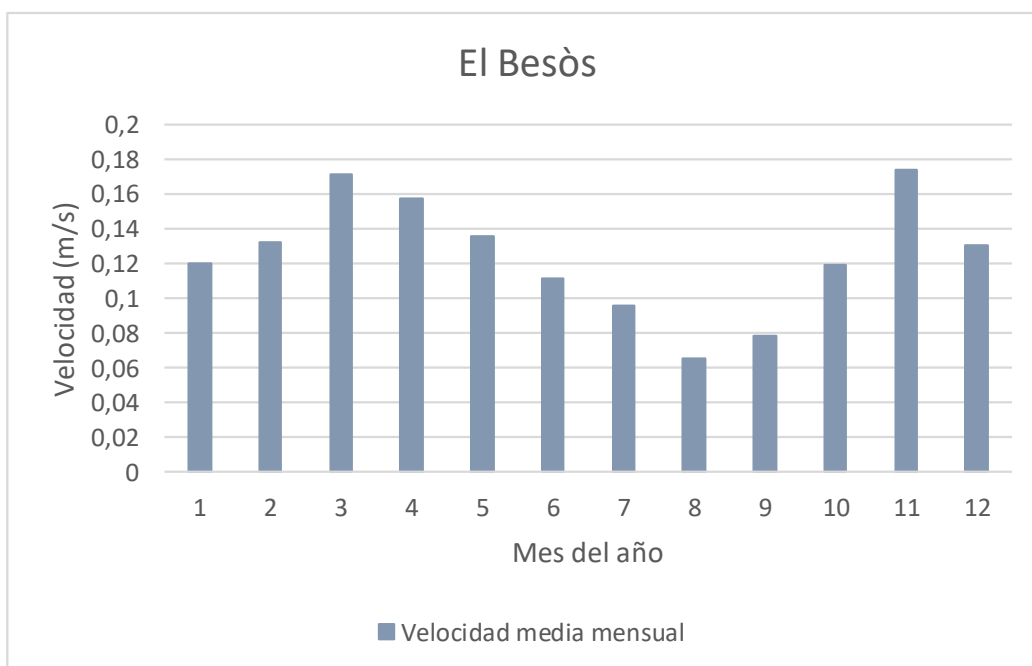


Gráfico 5: Variación de la velocidad media mensual a lo largo del año del río Besòs

EL LLOBREGAT

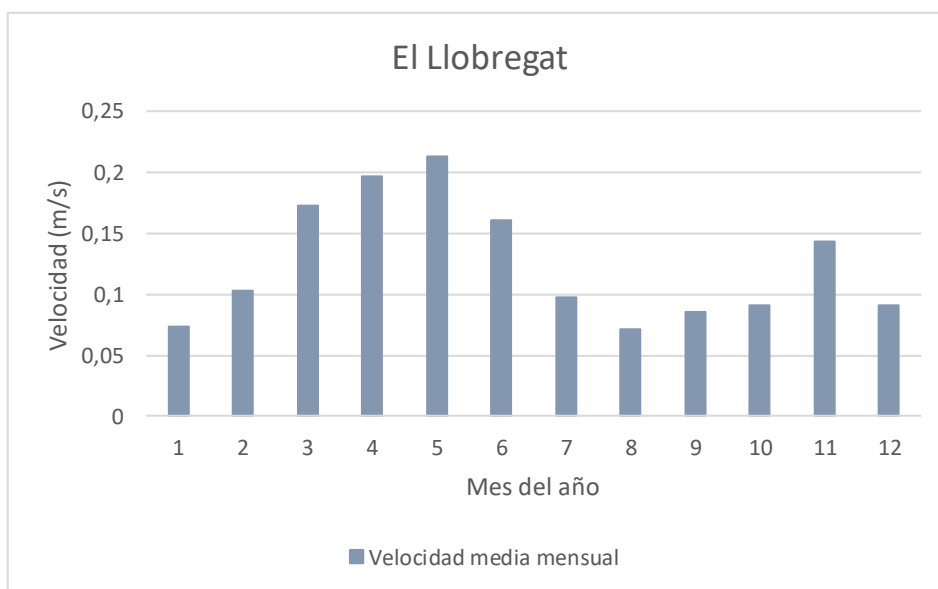


Gráfico 6: Variación de la velocidad media mensual a lo largo del año del río Llobregat

Para una primera idea del Tordera el *gráfico 4* nos muestra el típico comportamiento de un río estacional. Es decir, en junio, julio y agosto el río es menos caudaloso y en los meses de marzo y noviembre baja más agua por el río. Al compararlo con los demás ríos en el *gráfico 10* vemos como aproximadamente está al mismo nivel de velocidad de agua que el Fluvià.

El río Besòs es de los ríos más importantes del paisaje litoral catalán por su situación estratégica, en cambio, según el *gráfico 10* donde se comparan las velocidades de los distintos ríos estudiados, el Besòs se encuentra un poco entre medio, de mediana magnitud. El comportamiento de las velocidades estacionales queda reflejado en el *gráfico 5* y tiene un comportamiento parecido al del Tordera, los meses de verano son los que llega menos agua y los meses de marzo y noviembre (primavera y otoño) el río baja con más agua.

El río Llobregat es también de los ríos más importantes, sin embargo en el *gráfico 10* vemos como en comparación con otros la velocidad media anual no es muy alta. Tiene un funcionamiento estacional que queda reflejado en el *gráfico 6*, en los meses de verano baja menos agua que en los meses de primavera y otoño.

Por último, del río Foix no se han graficado las velocidades medias mensuales porque solamente se tienen datos medios anuales. Sin embargo, este hecho ya indica que no es un río muy caudaloso y está entre los ríos pequeños como se podrá comprobar en el *gráfico 10*.

4.2.3 SECTOR TARRAGONA

EL GAIÀ

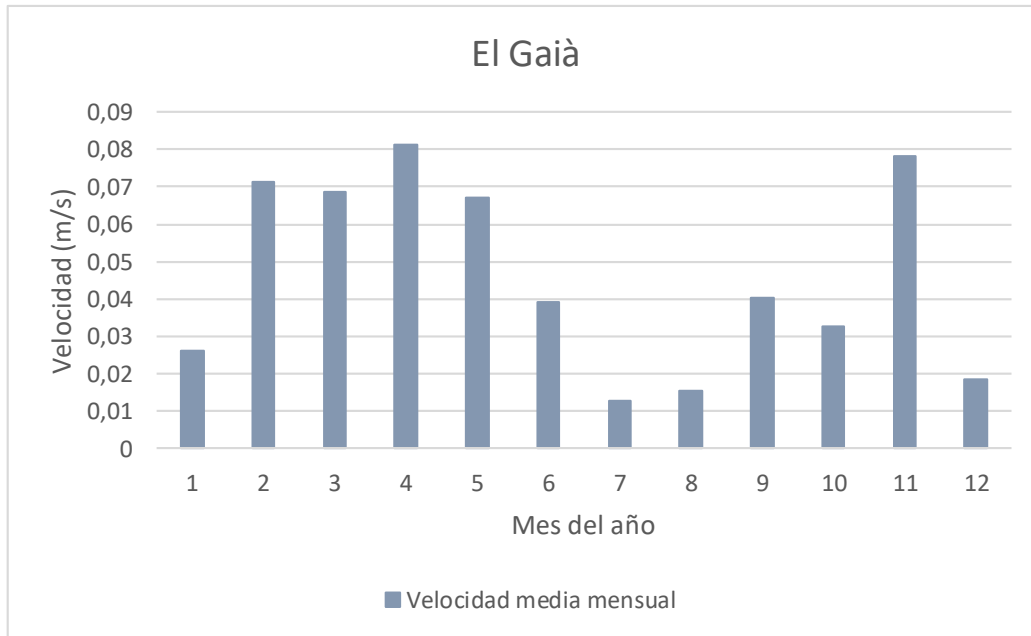


Gráfico 7: Variación de la velocidad media mensual a lo largo del año del río Gaià

EL FRANCOLÍ

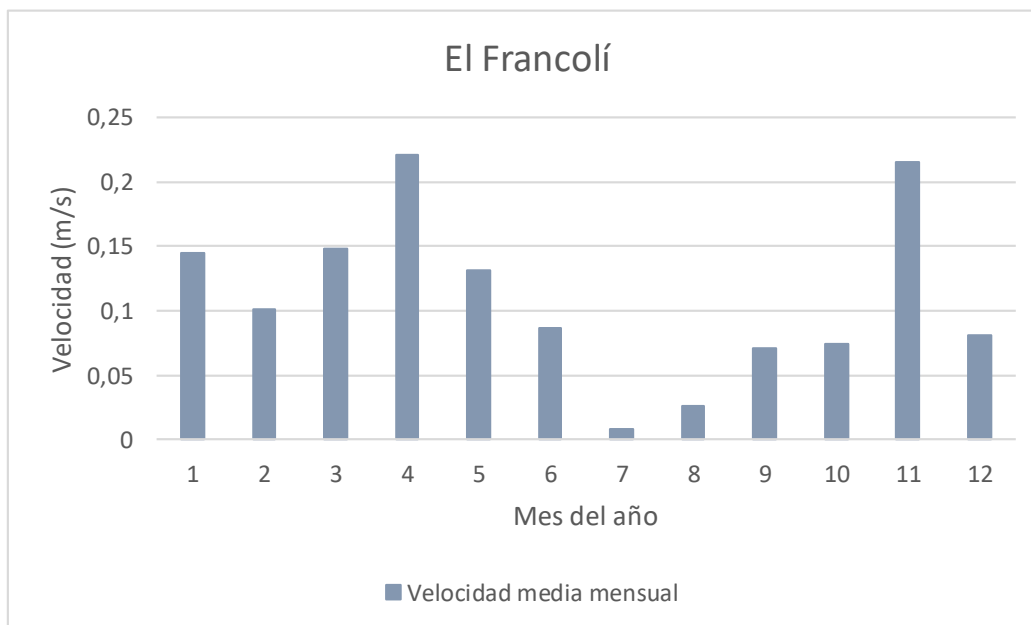


Gráfico 8: Variación de la velocidad media mensual a lo largo del año del río Francolí

EL EBRO

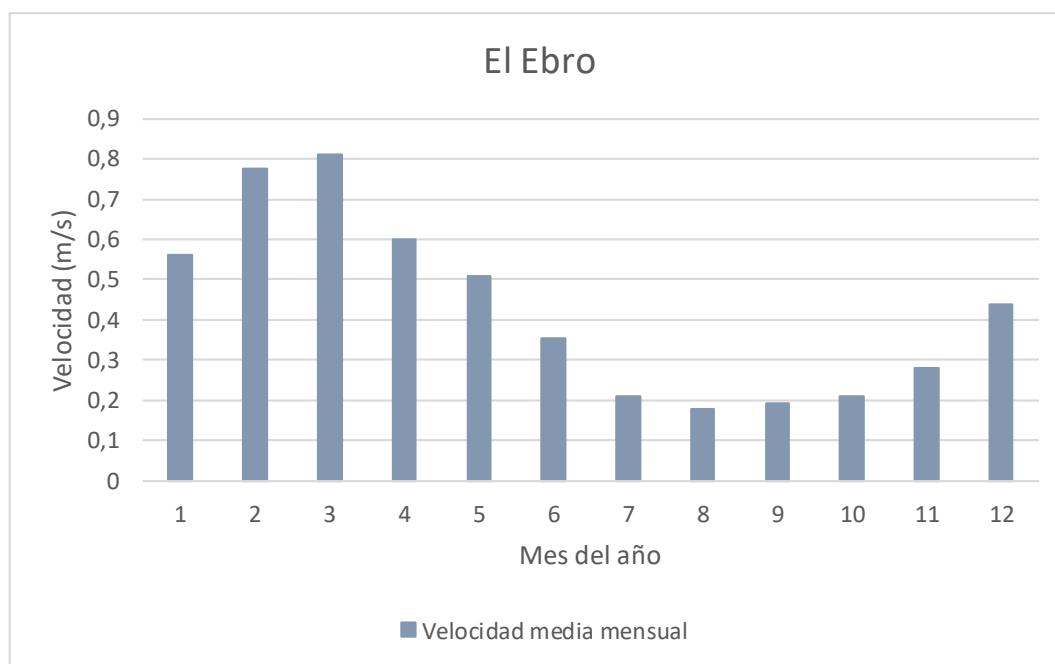


Gráfico 9: Variación de la velocidad media mensual a lo largo del año del río Ebro

El río Gaià es uno de los ríos más pequeños en cuanto a caudal (y también longitud) en comparación con los demás (*gráfica 10*). Para una primera idea del comportamiento del río por parte de tierra se grafican las velocidades medias mensuales en el *gráfico 7*. Se ve un comportamiento parecido a los demás ríos, con picos de velocidad en los meses de marzo-abril y en noviembre, cayendo en picado la velocidad durante los meses de julio y agosto.

El río Francolí forma parte del grupo de ríos que se podrían llamar pequeños de este grupo. Tiene un caudal un poco menor al Besòs y Llobregat, pero parece de mayor magnitud que el Foix, el Gaià y la Muga (*gráfico 10*). Fijándonos en el *gráfico 8* se deduce que los picos típicos estacionales también se dan en el río Francolí, siendo abril y noviembre los meses del año en los que baja más agua por el río.

El río Ebro es el río más caudaloso por excelencia y eso queda completamente reflejado en el *gráfico 10*. Además, en el *gráfico 9* también se aprecia que la velocidad media mensual es bastante elevada, con un pico en marzo. Esto se debe a la gran regulación de este río por su importancia en el territorio.

Finalmente, como ya se ha anticipado en la introducción del capítulo y se ha ido comentando a lo largo de éste, se grafica una comparativa de todos los ríos con velocidades medias anuales:

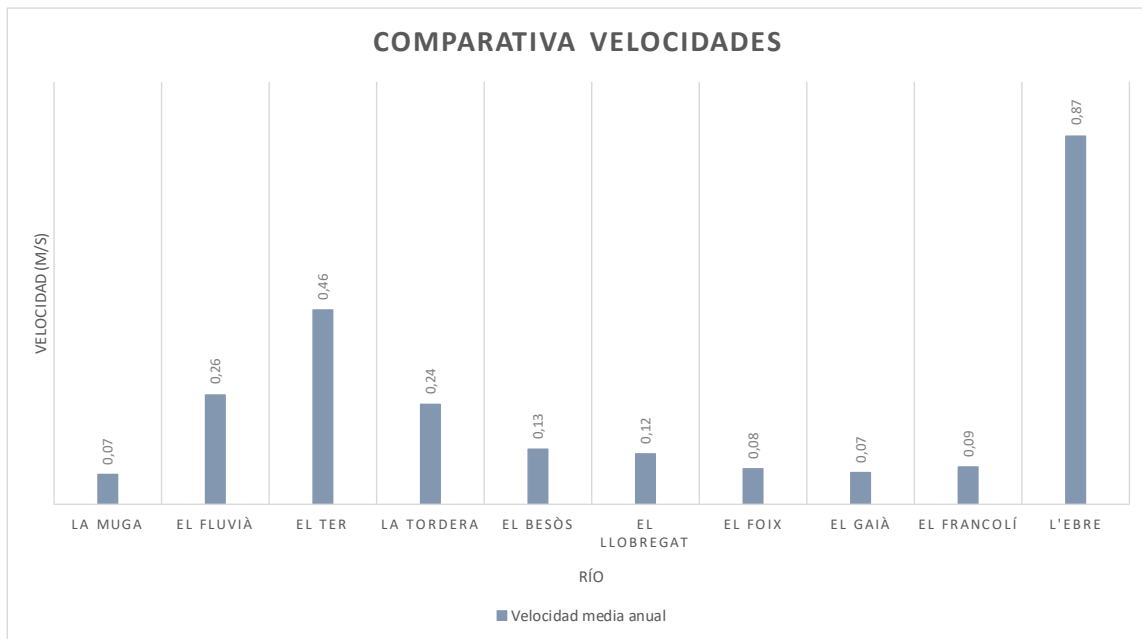


Gráfico 10: Comparativa de las velocidades medias anuales de los ríos estudiados

4.3 MAR

4.3.1 SECTOR GIRONA

LA MUGA

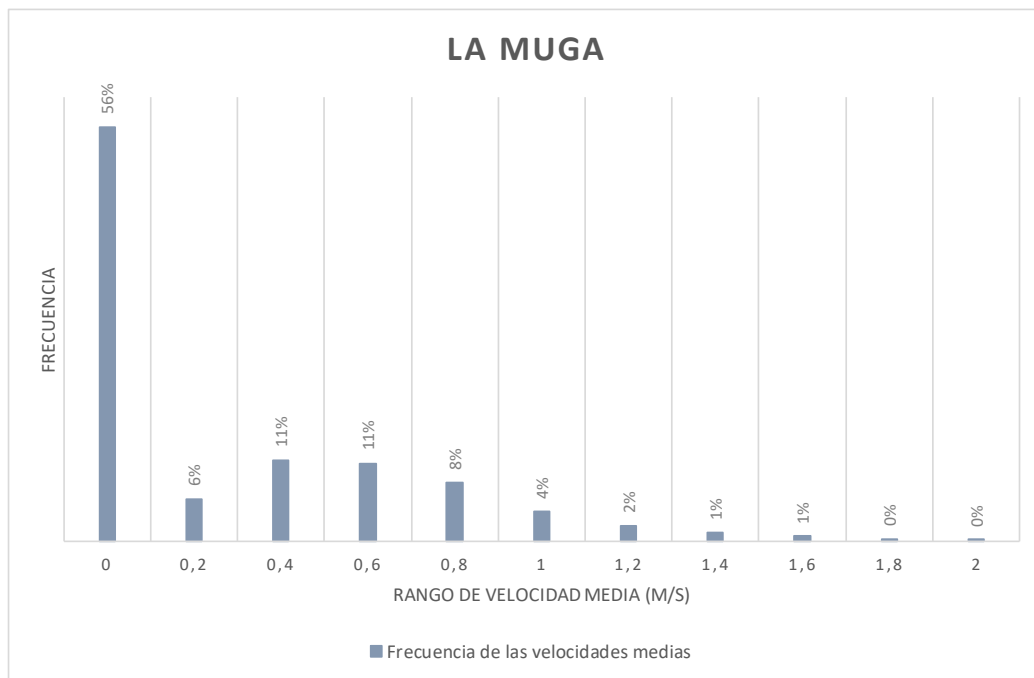


Gráfico 11: Frecuencia de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Muga

EL FLUVIÀ

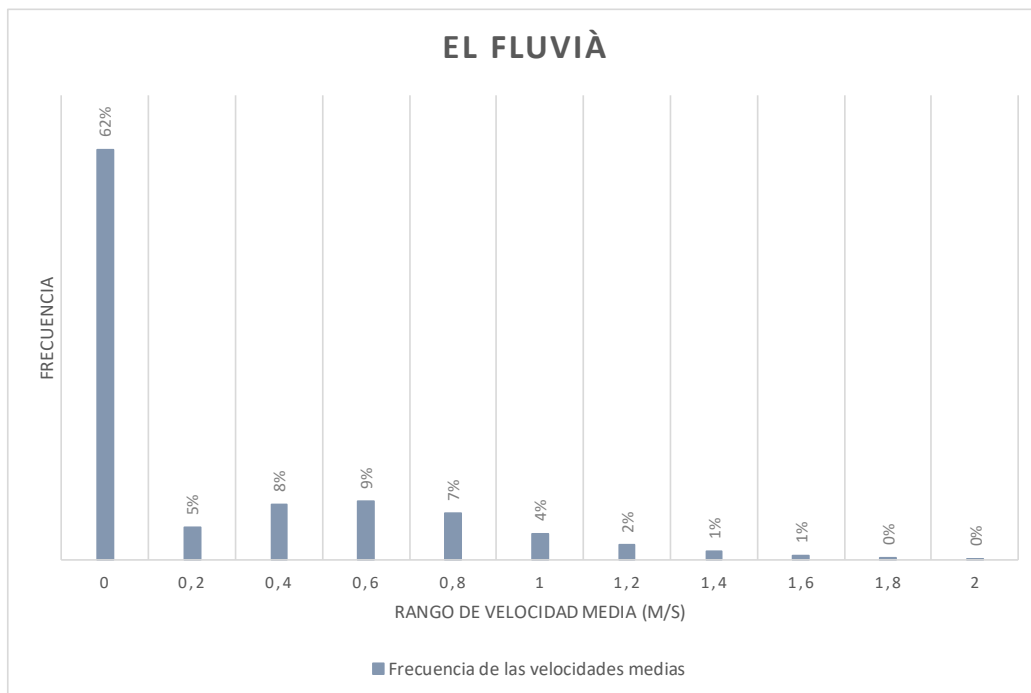


Gráfico 12: Frecuencia de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Fluvià

EL TER

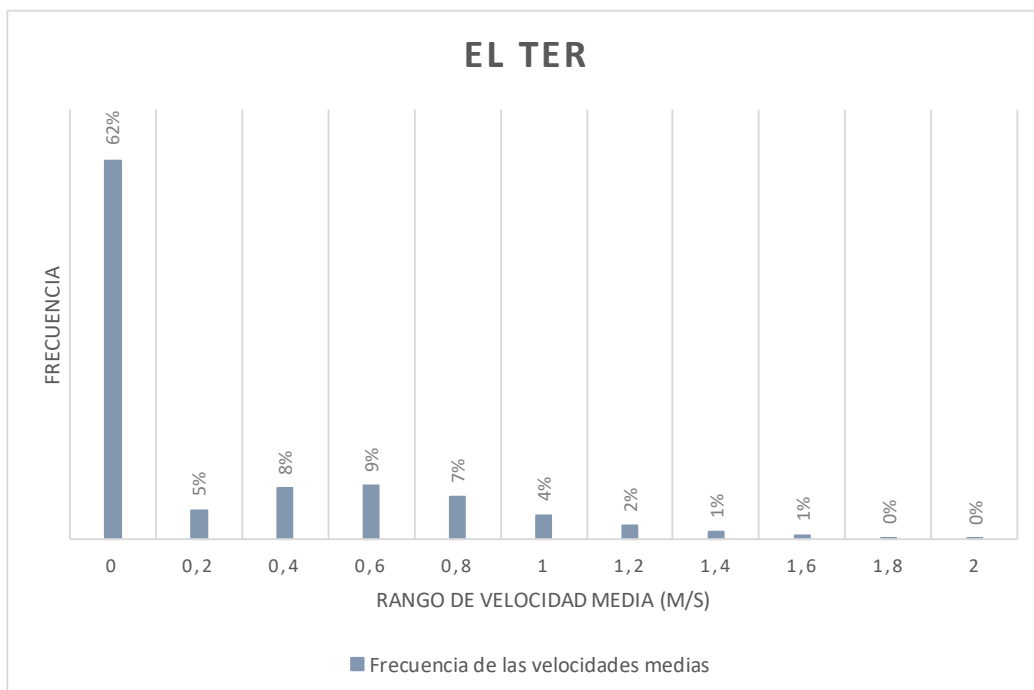


Gráfico 13: Frecuencia de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Ter

Para una primera idea de lo que ocurre en el mar en la desembocadura de la Muga, en el *gráfico 11* se ven como más de la mitad de las velocidades medias están en el rango 0. Esto puede ser debido a falta de datos de muchos días o por la zona de la costa donde la incidencia del oleaje sería siempre baja.

Con el Fluvià ocurre lo mismo que con la Muga que alrededor de un 60% de las velocidades medias del oleaje se encuentran en el rango del 0, como se deduce del *gráfico 12*. Parece que la razón de esto es la falta de datos en la boya utilizada para los tramos de costa que se encuentran los ríos Muga, Fluvià y Ter.

Con los datos del oleaje del río Ter ocurre lo mismo que en los dos ríos anteriores, la falta de datos queda reflejada tal como muestran el *gráfico 13*.

4.3.2 SECTOR BARCELONA

EL TORDERA

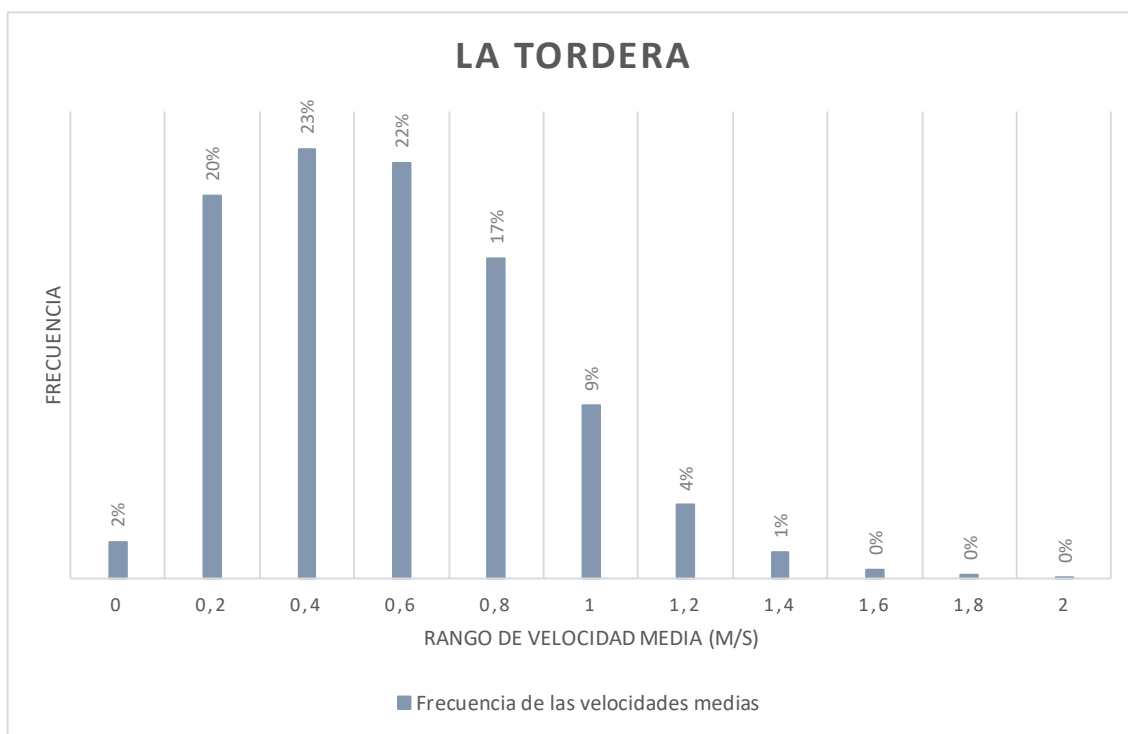


Gráfico 14: Frecuencia de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Tordera

EL BESÒS

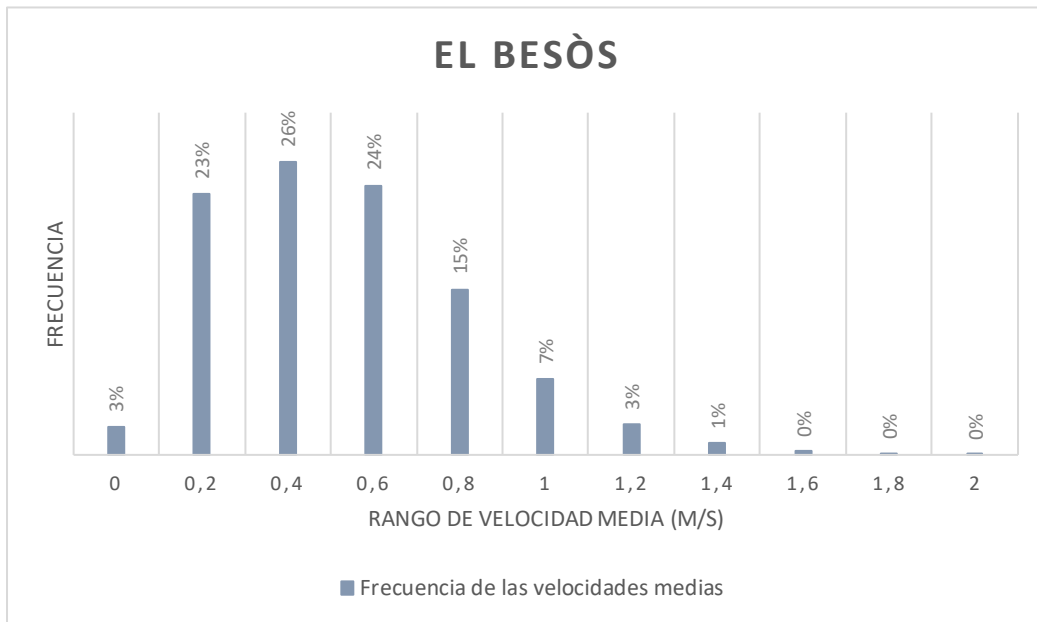


Gráfico 15: Frecuencia de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Besòs

EL LLOBREGAT

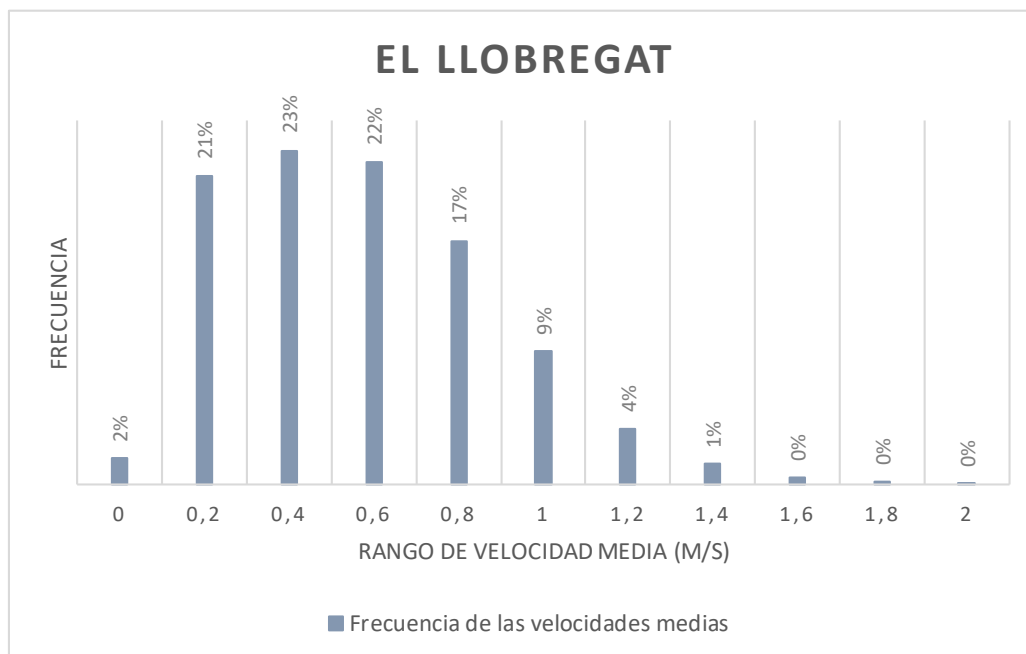


Gráfico 16: Frecuencia de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Llobregat

EL FOIX

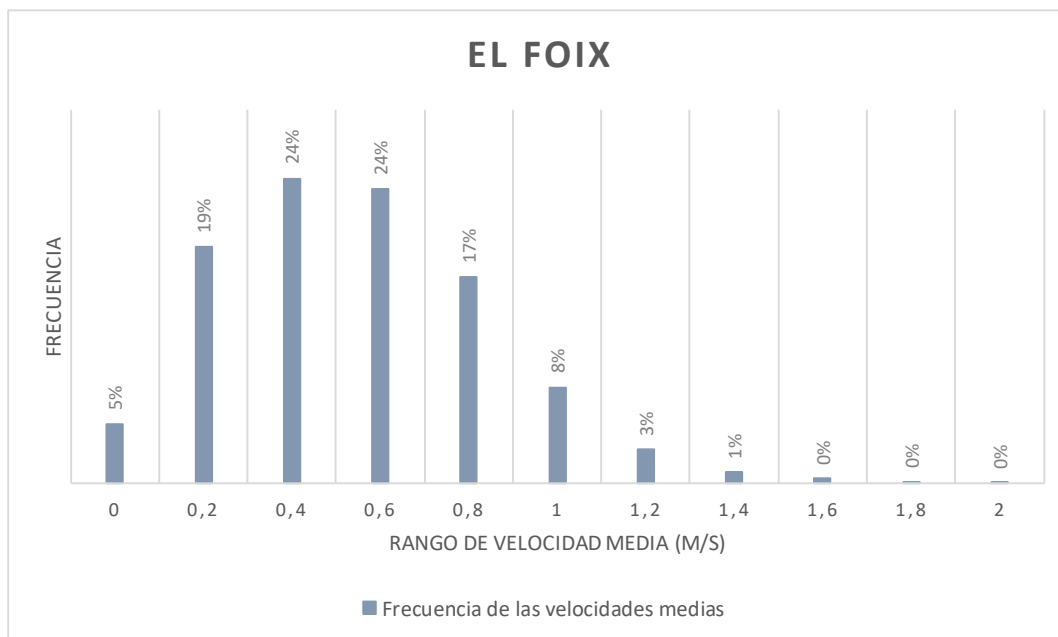


Gráfico 17: Frecuencia de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Foix

Analizando la velocidad media debida al oleaje en el *gráfico 14* queda evidente que el rango de velocidades en el caso del Tordera sigue un comportamiento más normal y el rango de velocidades medias es más variado o ocupa un rango mayor.

Por otro lado, en la desembocadura el estudio del oleaje en la desembocadura del Besòs en el *gráfico 15* indica una frecuencia de velocidades medias distribuida en varios rangos de ocurrencia, parecido al caso del Tordera.

Una primera aproximación para el estudio del comportamiento del oleaje en esta zona de la desembocadura del Llobregat se refleja en el *gráfico 16*. Los rangos de velocidades siguen una distribución parecida a los casos anteriores, normal.

En la parte del oleaje de la desembocadura del río Foix, la frecuencia o comportamiento de las velocidades medias tienen un comportamiento normal, distribuido en varios rangos, como en casos anteriores (*gráfico 17*).

4.3.3 SECTOR TARRAGONA

EL GAIÀ

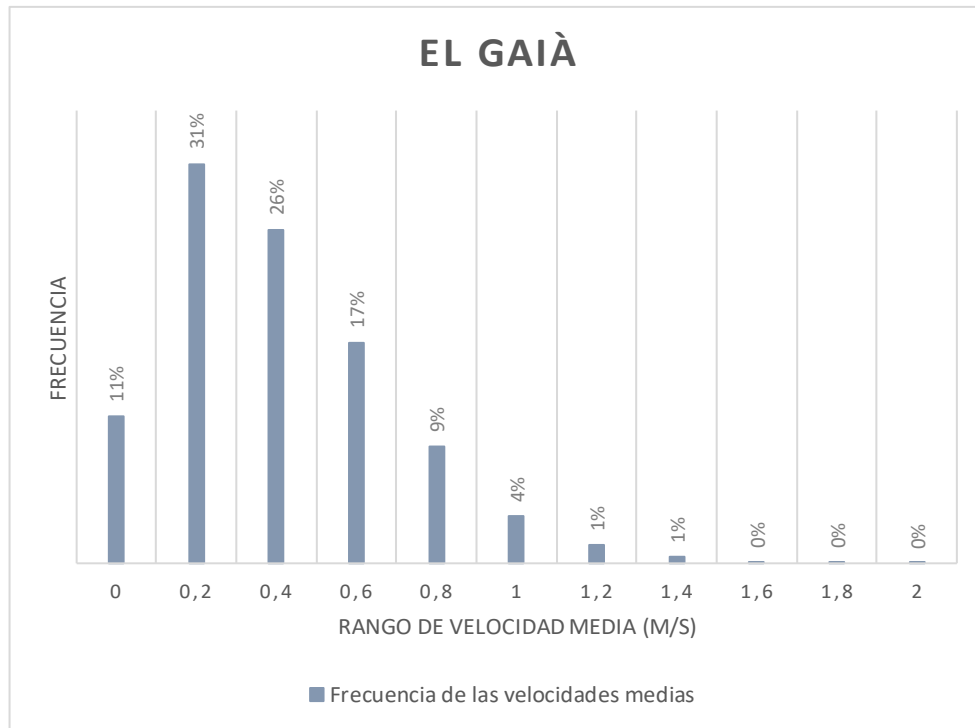


Gráfico 18: Frecuencia de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Gaià

EL FRANCOLÍ

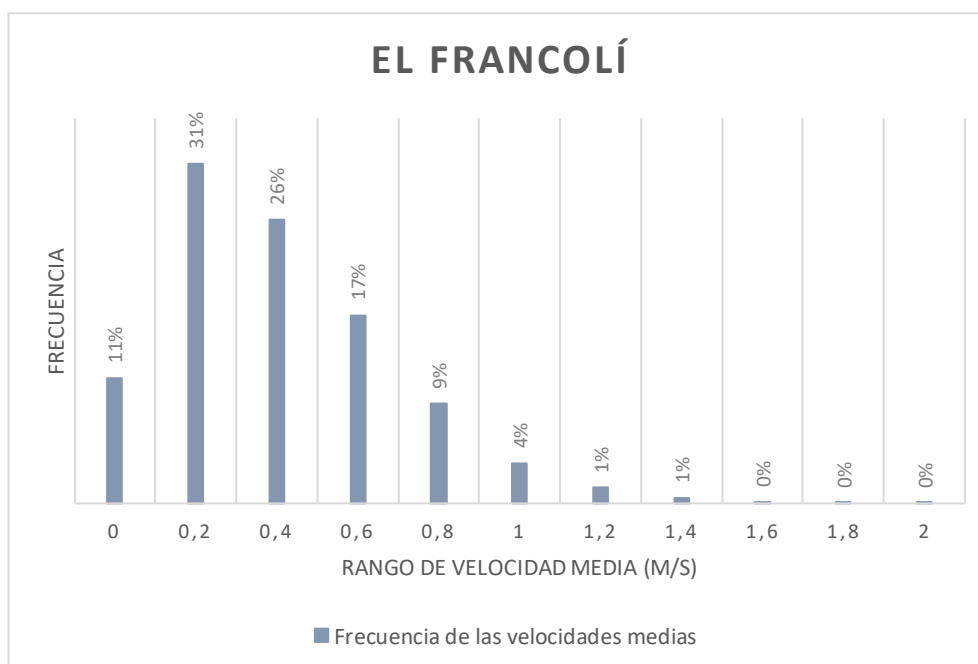


Gráfico 19: Frecuencias de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Francolí

EL EBRO

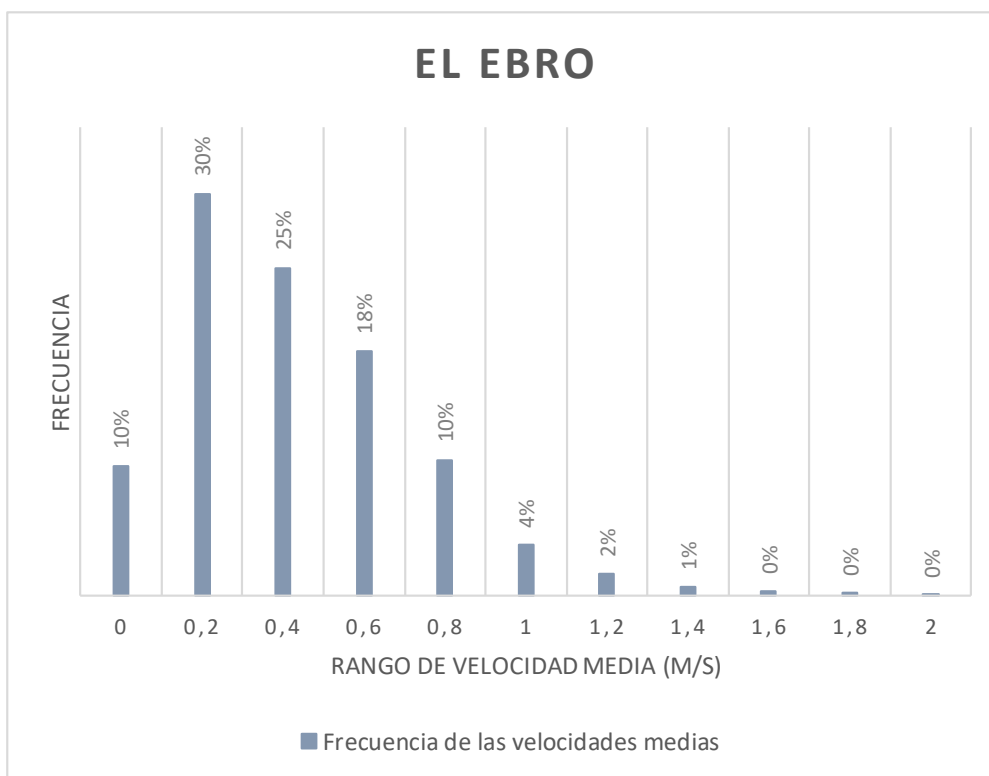


Gráfico 20: Frecuencia de las velocidades medias del oleaje frente a la desembocadura del río Ebro

El rango de velocidades generadas por el oleaje en la desembocadura del río Gaià se resume en el *gráfico 18*. En este caso, a diferencia de los anteriores, la curva que dibujan las frecuencias no es tan suave, los porcentajes son más escalonados y por tanto los datos están distribuidos de manera más dispar (*gráfico 18*).

Para el estudio del oleaje en la desembocadura del río Francolí, en el *gráfico 19* el comportamiento del oleaje se ha graficado y los resultados son parecidos a los del Gaià, cosa que anticipa que será algo debido a los datos recolectados en esa estación, la de Tarragona.

Finalmente, para el estudio del Ebro con la frecuencia de velocidades frente a la desembocadura ocurre lo mismo que en los casos del río Gaià y Francolí dado que los datos provienen de la misma estación (*gráfico 20*).

5. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO TEÓRICO DE DESEMBOCADURA

Una vez se tienen todos los datos organizados y los cálculos pertinentes realizados se puede proceder a construir un modelo teórico de desembocadura. Esto es, comparando la fuerza del agua del río y la del mar, ver en qué época del año la desembocadura logra estar abierta o no.

5.1 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

En este capítulo se han comparado los datos de las distintas fuentes de información ya mencionadas en el capítulo anterior con las velocidades críticas calculadas previamente mediante la teoría explicada en el apartado 3.

En el caso de los ríos se ha estudiado cuál es el porcentaje de veces al mes en el que la velocidad supera a la velocidad crítica que provocaría una apertura de la desembocadura del río. De esta manera se verán cuáles son los meses en que este porcentaje es más alto y como consecuencia más probabilidad de que el río tenga suficiente fuerza para abrir la desembocadura para llegar al mar.

Por otro lado, para estudiar la parte marítima se han tratado los datos de diferentes maneras dando lugar a tres tipos de gráficos que aportan conclusiones desde distintos puntos de vista. El primero es parecido al caso de los ríos, se ha cogido el porcentaje de veces al mes en que la velocidad supera la velocidad crítica a partir de la cual hay arrastre de sedimento. Además, en este mismo gráfico se han tratado los datos con la desviación típica del diámetro del sedimento de cada playa, para ver si había mucha diferencia o influencia del tamaño del sedimento. Finalmente, el *gráfico 40* servirá a modo de resumen y visión general comparando estos gráficos pero incluyendo todos los ríos.

Más tarde, para estudiar no solamente si se supera la velocidad crítica sino también por cuán por encima o por debajo de ésta está la velocidad media se grafica el porcentaje de velocidades que están por encima del doble de la velocidad crítica, el porcentaje de las velocidades que están entre la velocidad crítica y el doble, y el porcentaje de velocidades que están por debajo de la velocidad crítica. Además, un tipo de gráfico parecido al de las barras apiladas es el de tipo Box Plot que también se ha utilizado para ver la distribución de las velocidades y si la velocidad crítica está por encima o por debajo de los cuantiles de la velocidad media que muestra este tipo de gráfico.

5.2 RÍOS

5.2.1 SECTOR GIRONA

LA MUGA

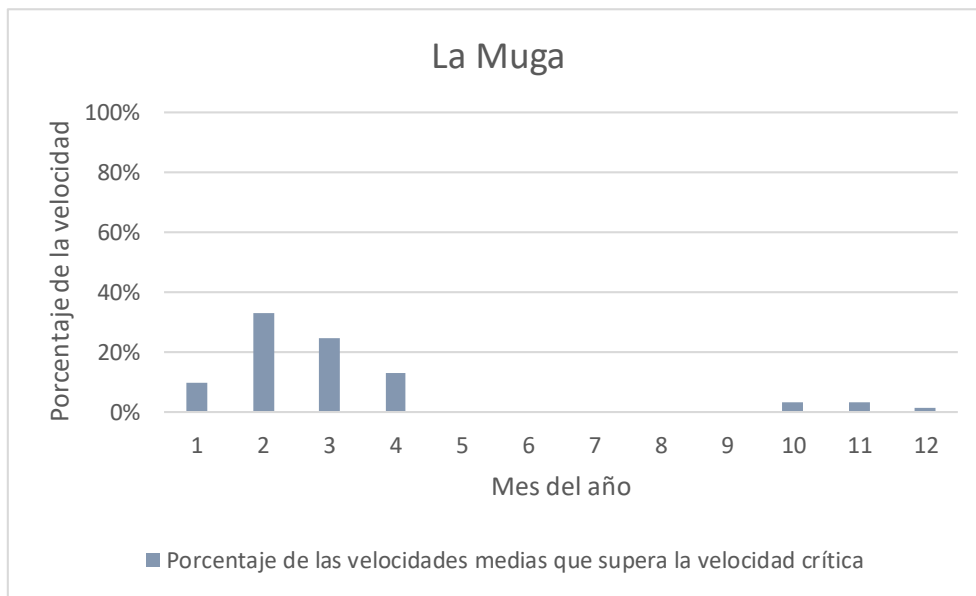


Gráfico 21: Porcentaje de velocidades del río Muga que superan la velocidad crítica

EL FLUVIÀ

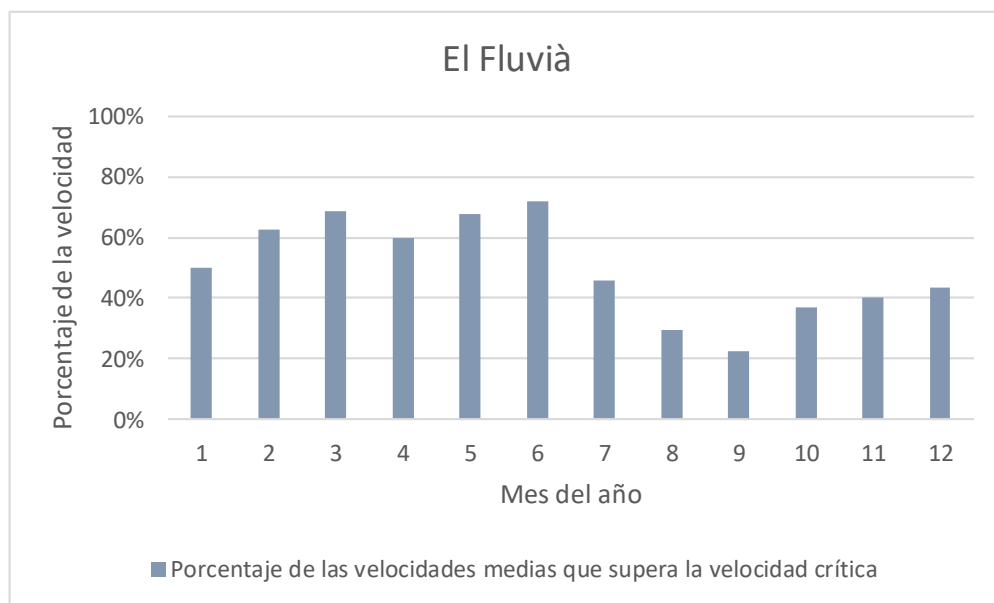


Gráfico 22: Porcentaje de velocidades del río Fluvià que superan la velocidad crítica

EL TER

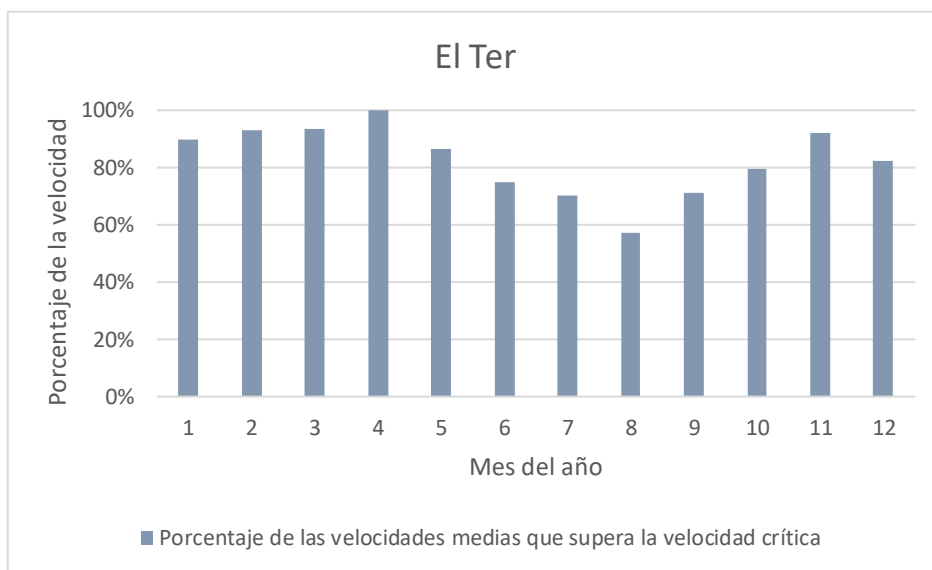


Gráfico 23: Porcentaje de velocidades del río Ter que superan la velocidad crítica

En el análisis del río Muga, en el *gráfico 21*, queda reflejado que solamente supera un porcentaje de veces muy bajo en los meses de invierno. En verano ni siquiera se supera la velocidad crítica de apertura de desembocadura. Entonces queda bastante claro que por parte de tierra esta desembocadura no tiene suficiente fuerza del río para mantenerse abierta.

En el caso del río Fluvià, el *gráfico 22*, muestra que la mayoría de los meses del año no se llega al 50% de veces en las que el río abre la desembocadura. Sin embargo, los meses de marzo y junio muestran un pico de un 60% de veces en los que se supera la velocidad crítica y que por tanto se abre la desembocadura al mar del río.

Es en el *gráfico 23* donde se ven los cambios respecto a los ríos anteriormente analizados, la mayoría de los meses del año el porcentaje que supera la velocidad crítica es bastante elevado, siendo el mes de agosto el que a pesar de más de 50% de las veces del mes supera la velocidad crítica, no es un porcentaje tan elevado como el resto de meses del año.

5.2.2 SECTOR BARCELONA

EL TORDERA

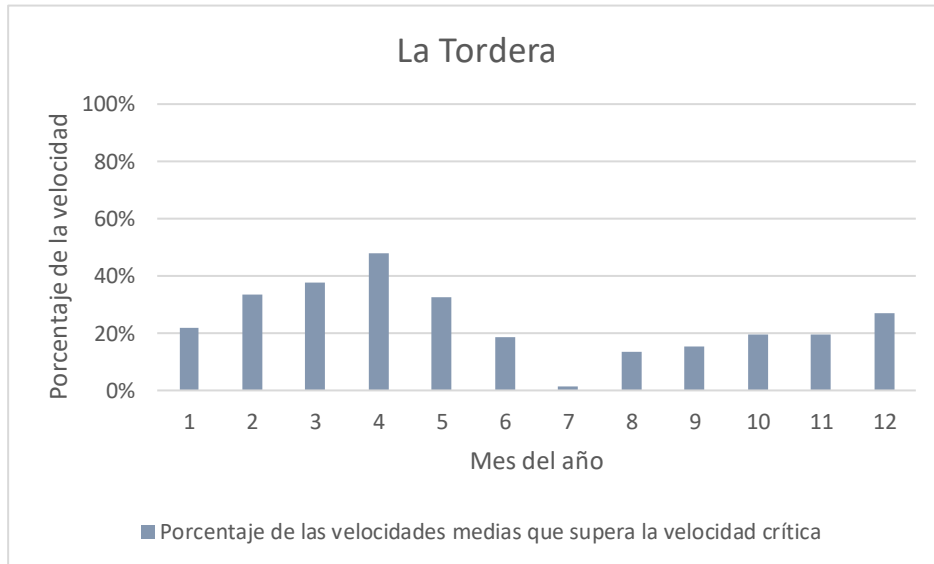


Gráfico 24: Porcentaje de velocidades del río Tordera que superan la velocidad crítica

EL BESÒS



Gráfico 25: Porcentaje de velocidades del río Besòs que superan la velocidad crítica

EL LLOBREGAT

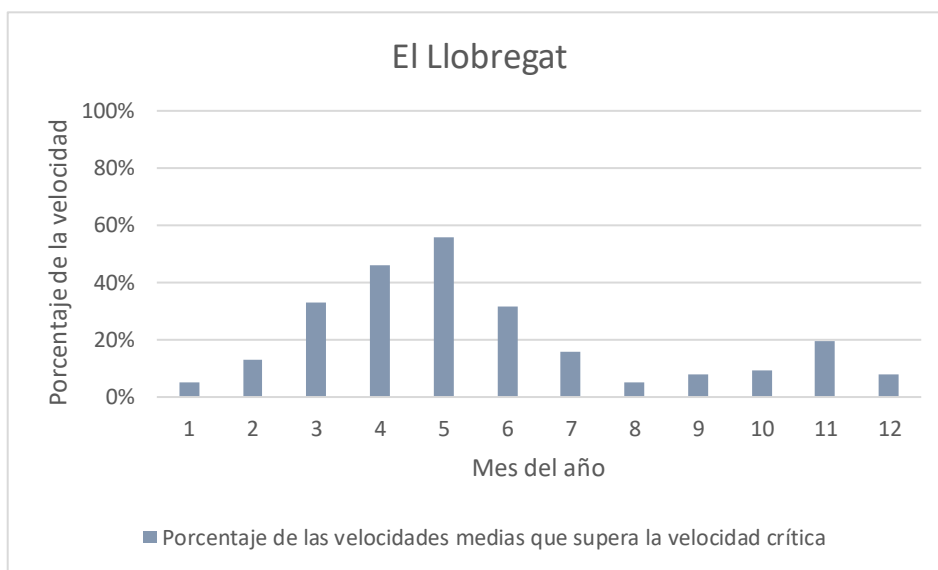


Gráfico 26: Porcentaje de velocidades del río Llobregat que superan la velocidad crítica

El Tordera, a pesar de ser un río medianamente grande, analizando el porcentaje de veces que supera la velocidad crítica para abrir la desembocadura en el *gráfico 24* se ve como solamente en el mes de marzo hay un porcentaje alrededor del 50% que se supera la velocidad crítica. Esto significa que la mayor parte del año el río no tiene suficiente fuerza para conseguir abrir su desembocadura.

En el caso del Besòs, el porcentaje de veces al mes que se supera la velocidad crítica con la que la desembocadura abriría, vemos como muy pocas veces al mes se supera (*gráfico 25*). Apenas llega a un 20% en el que se supera en los meses de marzo y noviembre (coincidiendo con el comportamiento típico de apertura o no). Siguiendo estos resultados la desembocadura del Besòs estaría cerrada gran parte del año por no decir siempre.

Como era de esperar, el río Llobregat supera la velocidad crítica un 50% de las veces en los meses de abril y mayo y que por tanto la desembocadura tenderá a estar abierta durante esos meses (*gráfico 26*).

Del río Foix no se tienen datos mensuales y por tanto no se ha podido analizar qué porcentaje al mes la velocidad con la que baja el río supera a la velocidad crítica.

5.2.3 SECTOR TARRAGONA

EL GAIÀ

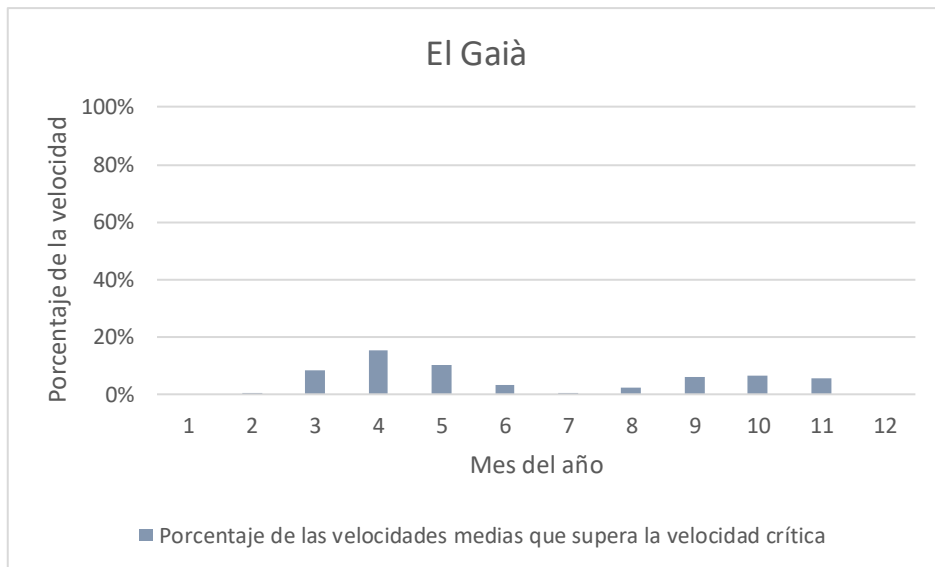


Gráfico 27: Porcentaje de velocidades del río Gaià que superan la velocidad crítica

EL FRANCOLÍ

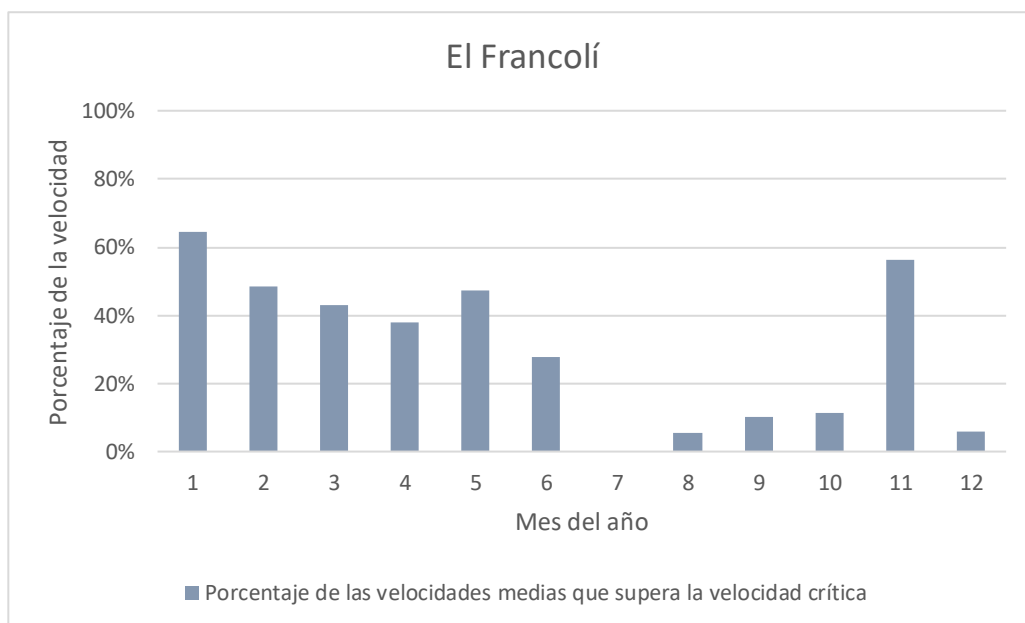


Gráfico 28: Porcentaje de velocidades del río Francolí que superan la velocidad crítica

EL EBRO

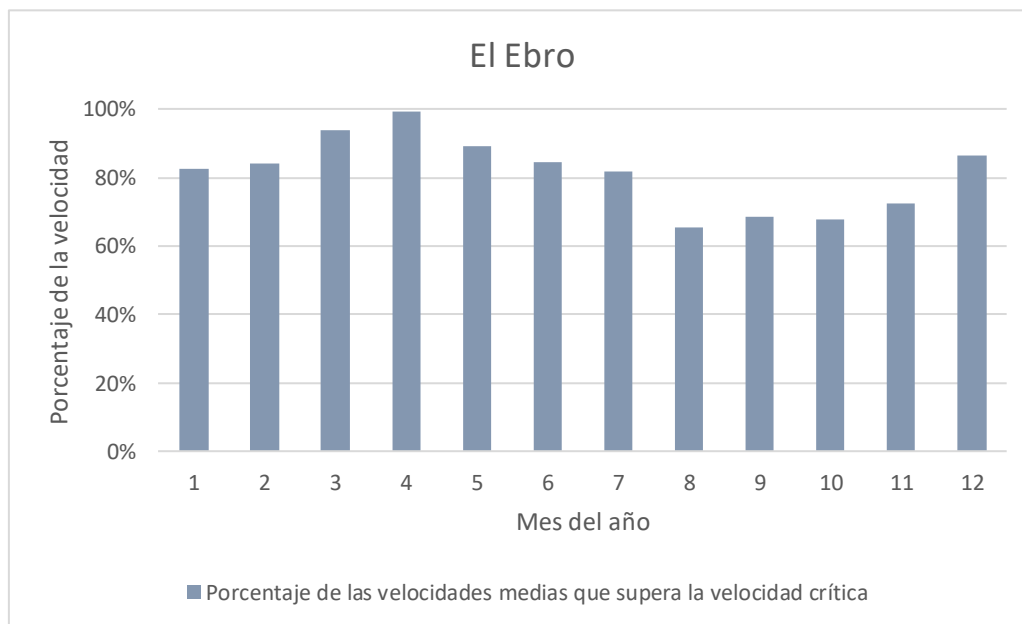


Gráfico 29: Porcentaje de velocidades del río Ebro en el que se superan las velocidades críticas

Para el caso del río Gaià, en el *gráfico 27* se refleja el porcentaje de veces al mes en el que la velocidad con la que baja el agua del río supera la velocidad crítica, y se deduce que el río no tiene mucha fuerza para mantener la desembocadura abierta. Los únicos meses del año en que la velocidad supera alrededor de un 15% de las veces la velocidad crítica son los meses de marzo, abril y mayo (primavera) y los meses de septiembre, octubre y noviembre (otoño).

En el *gráfico 28* se estudia el comportamiento del río Francolí que en este caso se ve como los meses de noviembre y enero superan la velocidad crítica un 60% de las veces y el mes de mayo alrededor de un 50% de las veces. Es destacable que los meses de verano casi no se llega ni al 10% y en el mes de diciembre tampoco.

Para analizar el inicio del movimiento debido a la fuerza del río Ebro se ha utilizado el *gráfico 29*. Como se esperaba, hay gran movimiento del fondo alrededor del 70-80% de las veces la velocidad media del río supera la velocidad crítica, con un pico en el mes de abril.

5.3 MAR

5.3.1 SECTOR GIRONA

LA MUGA

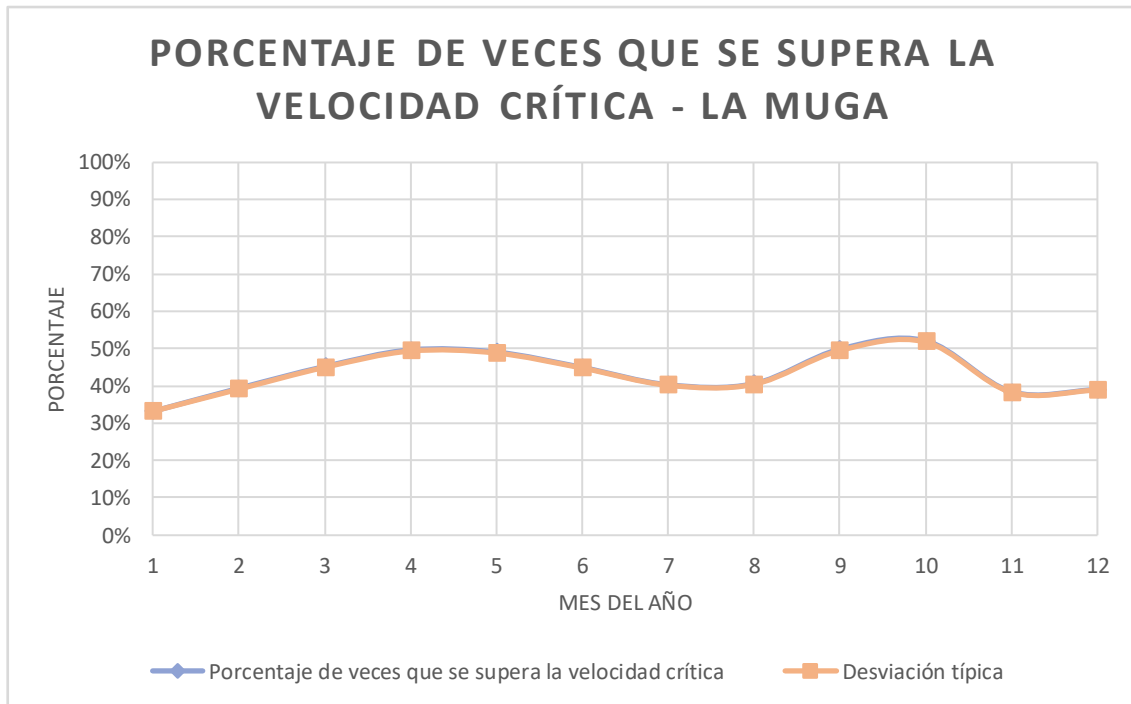


Gráfico 30: Porcentaje de veces al mes en que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (La Muga)

EL FLUVIÀ

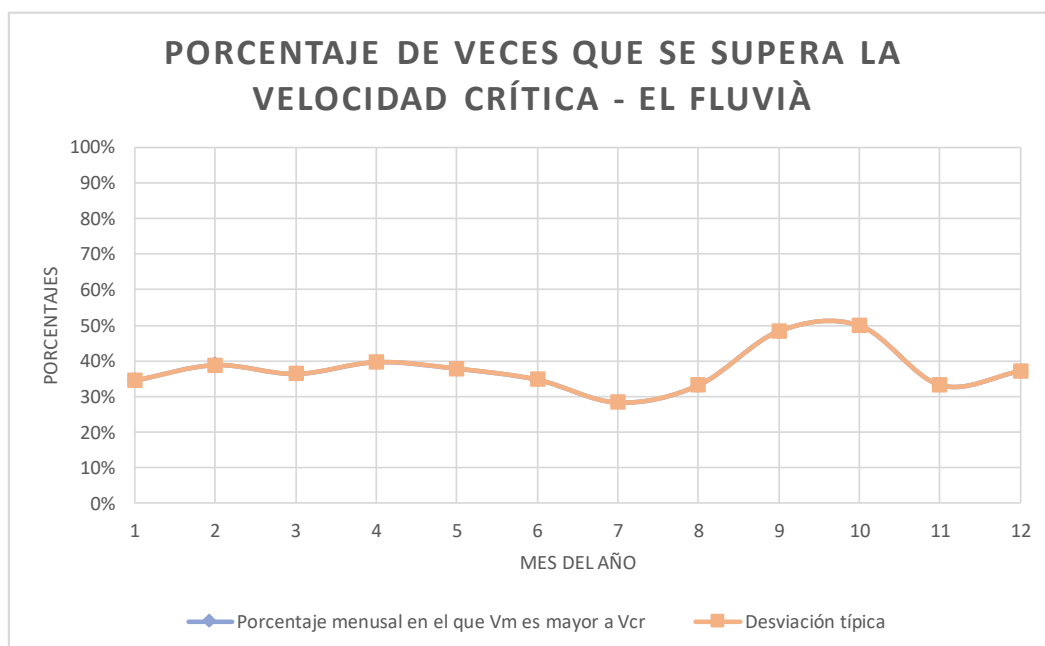


Gráfico 31: Porcentaje de veces al mes que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (El Fluvià)

EL TER

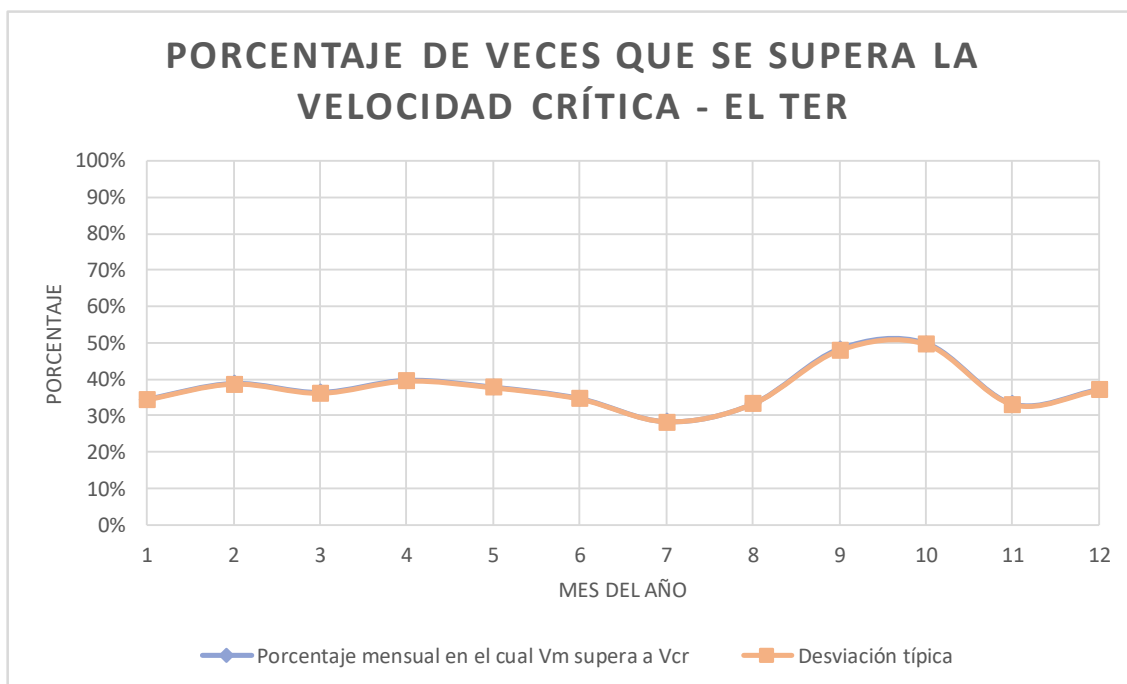


Gráfico 32: Porcentaje de veces al mes que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (El Ter)

El análisis del río Muga, del gráfico 30 se extrae que los meses con más probabilidad de cerrar la desembocadura son los de abril, septiembre y octubre. Además, se ha querido analizar si el porcentaje de veces al mes que la velocidad super a la velocidad crítica estaba influenciada por la desviación típica del sedimento de cada playa estudiada. En este caso se ve como no tiene influencia.

En el comportamiento del río Fluvià ocurre algo parecido al caso de la Muga. Los meses en los cuales el oleaje puede superar la velocidad crítica cerca de un 50% de las veces son los meses de septiembre y octubre. El efecto de la desviación típica del diámetro del sedimento es la misma que el río Muga (gráfico 31).

Con los datos del oleaje en la desembocadura del río Ter ocurre lo mismo que en los dos ríos anteriores, la desviación típica no afecta al movimiento de sedimento, tal como muestra el gráfico 32 y los meses con mayor porcentaje (50%) son los de septiembre y octubre.

5.3.2 SECTOR BARCELONA

EL TORDERA

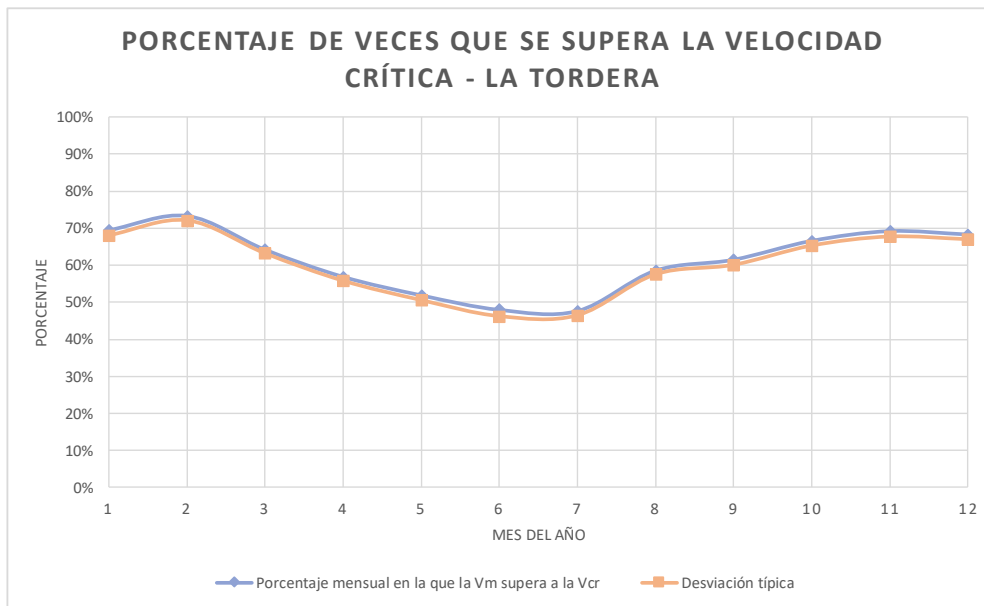


Gráfico 33: Porcentaje de veces al mes que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (La Tordera)

EL BESÒS

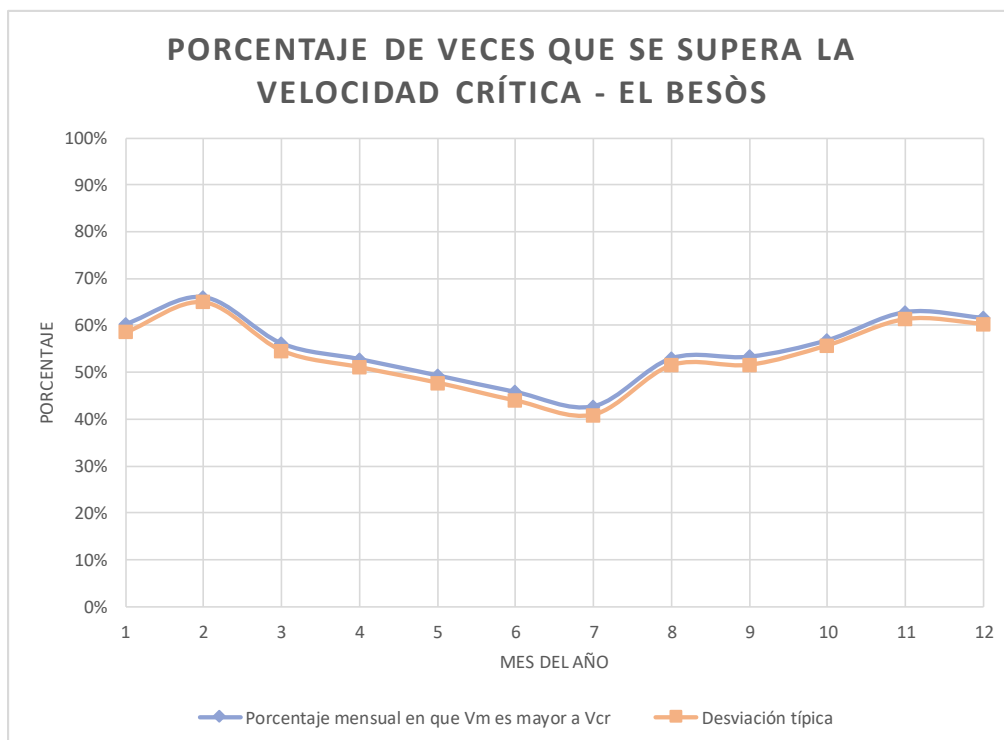


Gráfico 34: Porcentaje de veces al mes que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (El Besòs)

EL LLOBREGAT

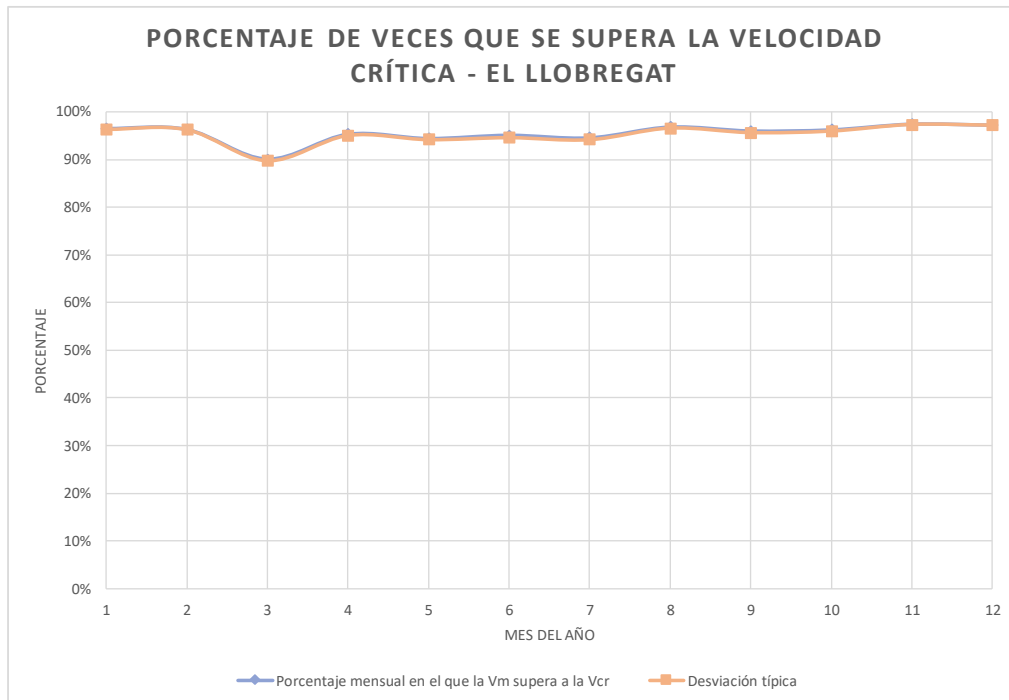


Gráfico 35: Porcentaje de veces al mes que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (El Llobregat)

EL FOIX

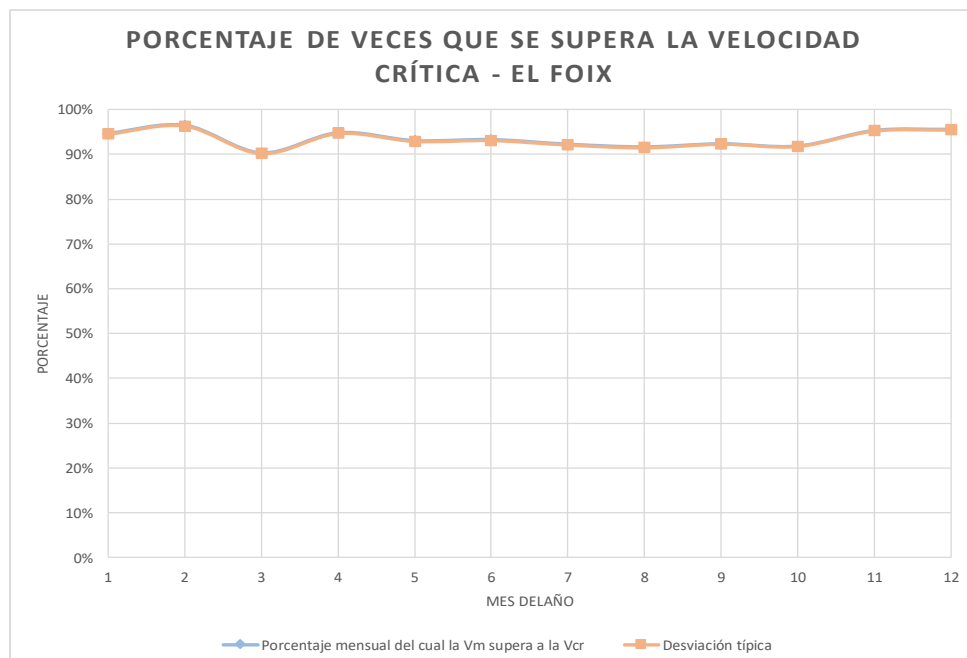


Gráfico 36: Porcentaje de veces al mes que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (Foix)

En cuanto al análisis del oleaje en la zona de la desembocadura del Tordera, la desviación típica del sedimento no da lugar a muchas diferencias como se observa en el *gráfico 33*. Además, se puede apreciar que el oleaje genera una velocidad media por encima de la velocidad crítica a partir de la cual se puede cerrar la desembocadura durante la mayoría de los meses del año (exceptuando los meses de mayo, junio y julio).

El Besòs (*gráfico 34*) la velocidad crítica se supera alrededor de un 50% cada mes, dependiendo del mes, un porcentaje más alto en los meses de invierno y un porcentaje alrededor del 40% en los meses de verano. También se indica la desviación típica del diámetro del sedimento que no tiene demasiada influencia aunque más que en los casos hasta ahora analizados.

En el *gráfico 35* queda claro que en esta zona de la desembocadura del río Llobregat la velocidad es suficientemente alta como para que haya casi siempre transporte de sedimento para cerrar la desembocadura durante todos los meses del año.

Para el río Foix, del *gráfico 36*, se deduce que la velocidad provocada por el oleaje es muy superior a la crítica y que por tanto hay una tendencia muy clara al cierre de la desembocadura del río durante todos los meses del año, parecido al caso del río Llobregat.

5.3.3 SECTOR TARRAGONA

EL GAIÀ

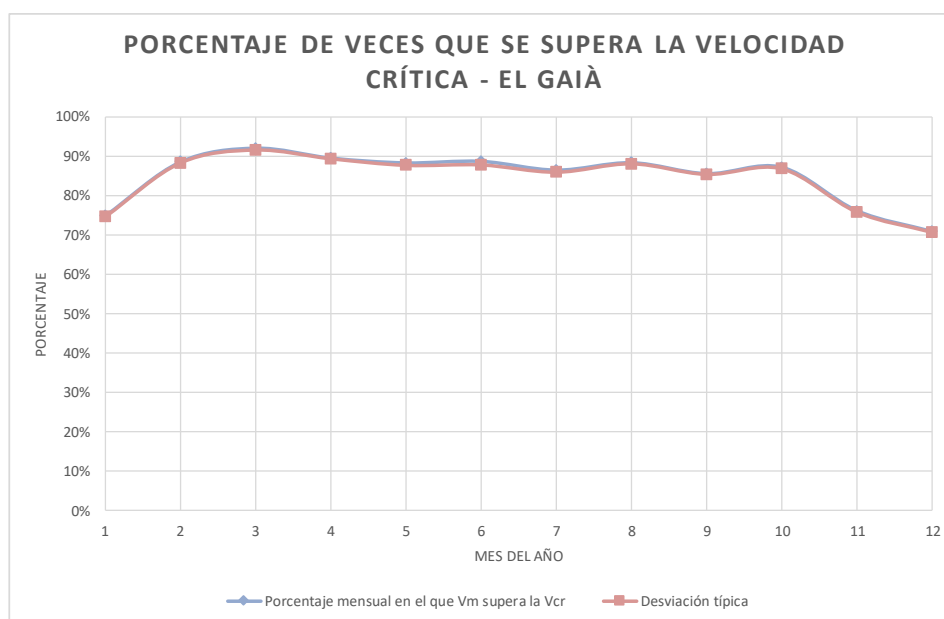


Gráfico 37: Porcentaje de veces al mes que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (El Gaià)

EL FRANCOLÍ

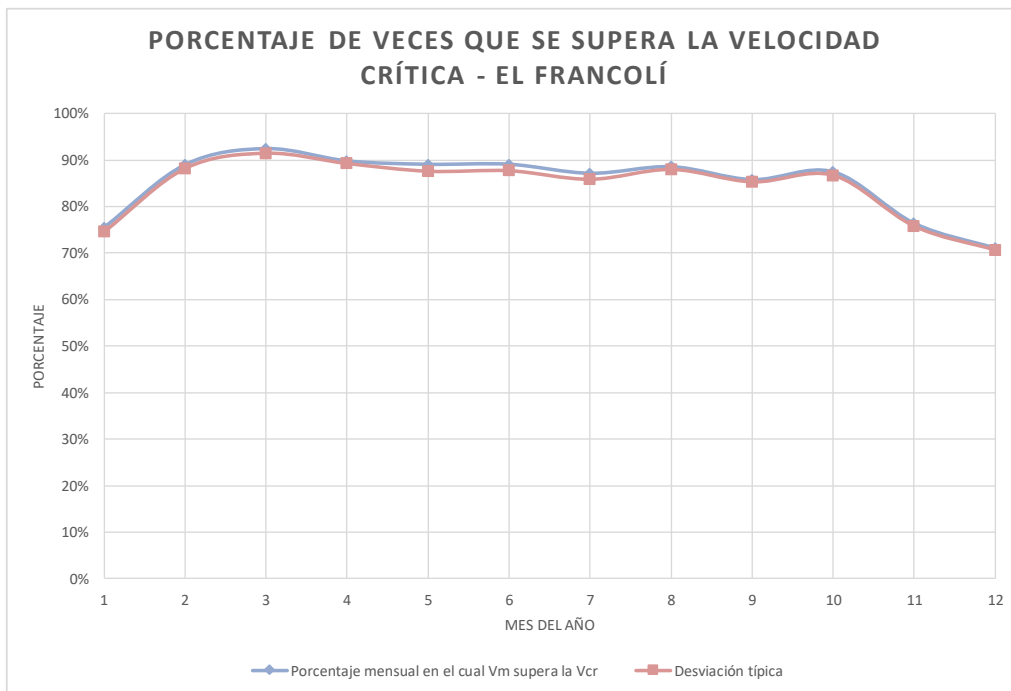


Gráfico 38: Porcentaje de veces al mes que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (El Francolí)

EL EBRO

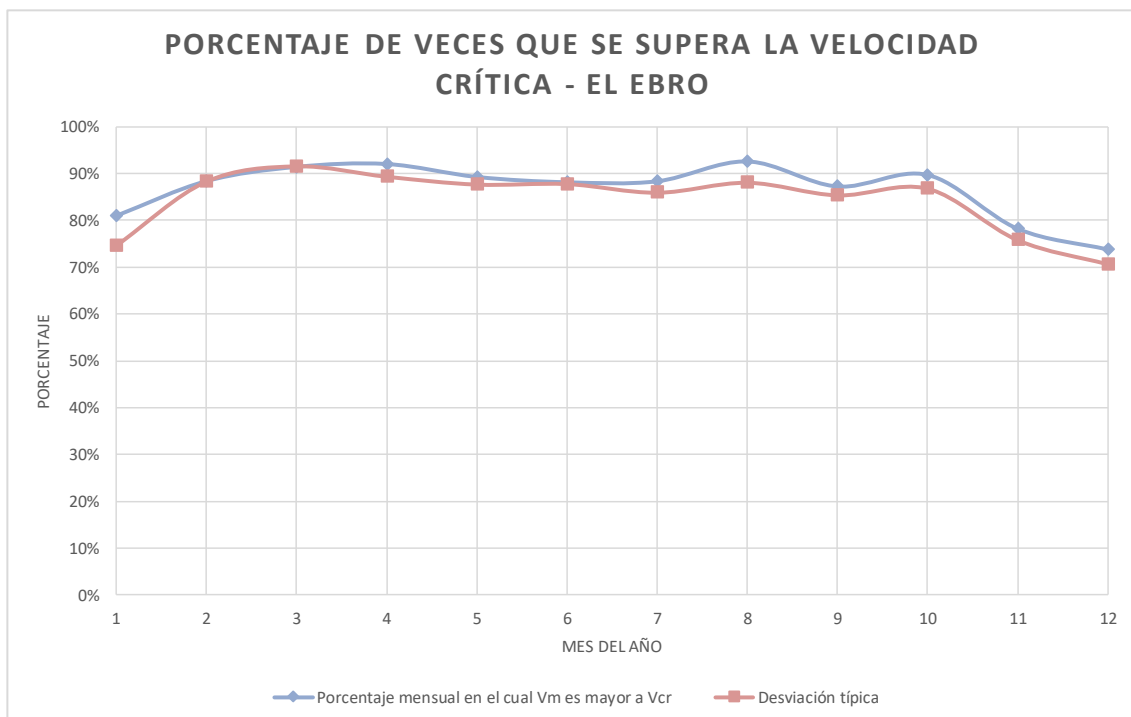


Gráfico 39: Porcentaje de veces al mes que la velocidad crítica es superada por la velocidad del oleaje (El Ebro)

En cuanto la parte de la fuerza que ejerce el mar en la desembocadura del río Gaià, se puede ver en el *gráfico 37* que casi todos los meses del año alrededor de un 90% de las veces la velocidad media del oleaje supera la velocidad crítica de inicio de movimiento. Además cabe destacar que en los meses en los cuales estos porcentajes de superación de la velocidad crítica son menores son los meses de noviembre, diciembre y enero.

La parte del oleaje del río Francolí se analiza en el *gráfico 38*. Tal como ocurre en otros casos la velocidad crítica es superada con porcentajes muy altos (90%) en la mayoría de meses. Los meses en los que este porcentaje baja hasta al 70% son los de noviembre, diciembre y enero.

En el caso del Ebro se deduce del *gráfico 39* que la desviación típica del sedimento puede alterar el porcentaje de veces en el que la velocidad media del oleaje supera la crítica. En este caso (como en los casos anteriores de esta zona) también se extrae que el oleaje supera la velocidad crítica también todos los meses con un 80-90% de las veces.

Finalmente, de modo de resumen y para identificar comportamientos parecidos a lo largo del año entre grupos de ríos o clima marítimo parecido se comparan así (como ya se ha adelantado al principio del capítulo):

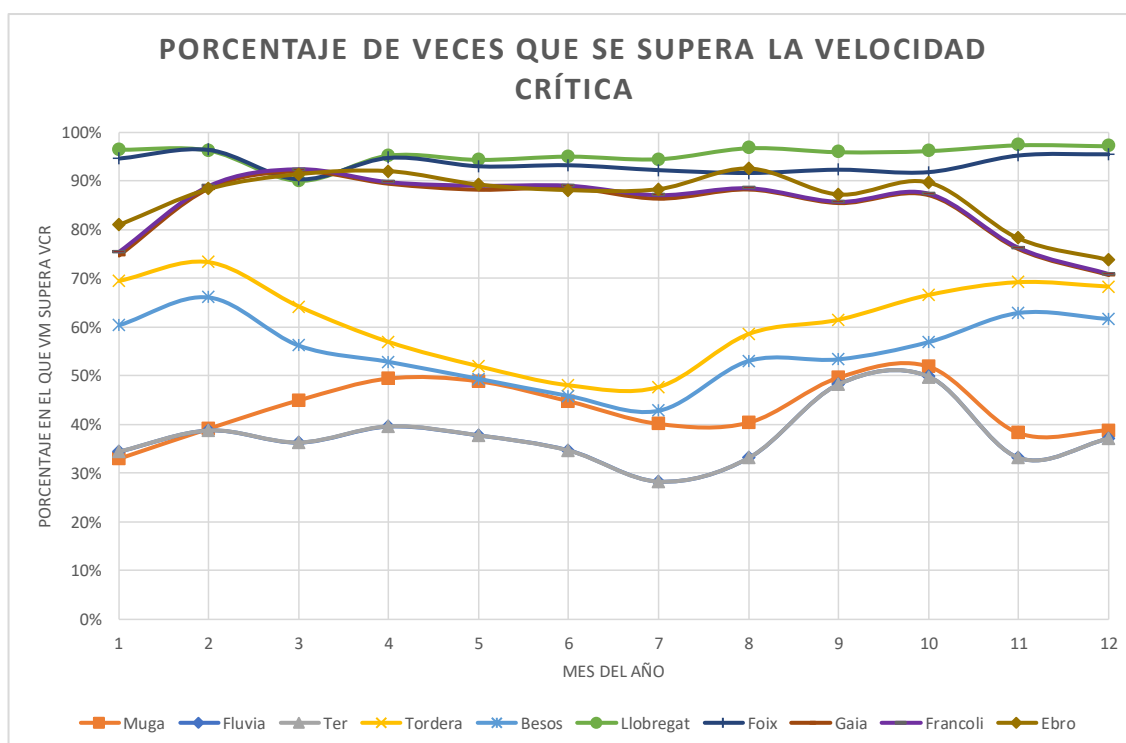


Gráfico 40: Comportamiento del oleaje frente a la desembocadura de los ríos analizados a lo largo del año

Ahora, como ya se ha mencionado anteriormente, se procede a analizar cuántas veces o qué porcentaje tan por encima o por debajo de la velocidad crítica tenemos. Es decir, cuan mayor o menor a la velocidad crítica se encuentra cada caso. De esta manera se podrá asegurar con más confianza si hay movimiento o no del sedimento. Por ejemplo, si estamos dos veces por encima de la velocidad que inicia el transporte parece que será bastante cierto asegurar que la desembocadura tenderá a ser cerrada y viceversa. En cambio, si las velocidades de cada mes en general tienen porcentajes más igualados (que superen la velocidad crítica), será más incierto el hecho de apertura o no de la desembocadura y se utilizará para crear un modelo final.

LA MUGA

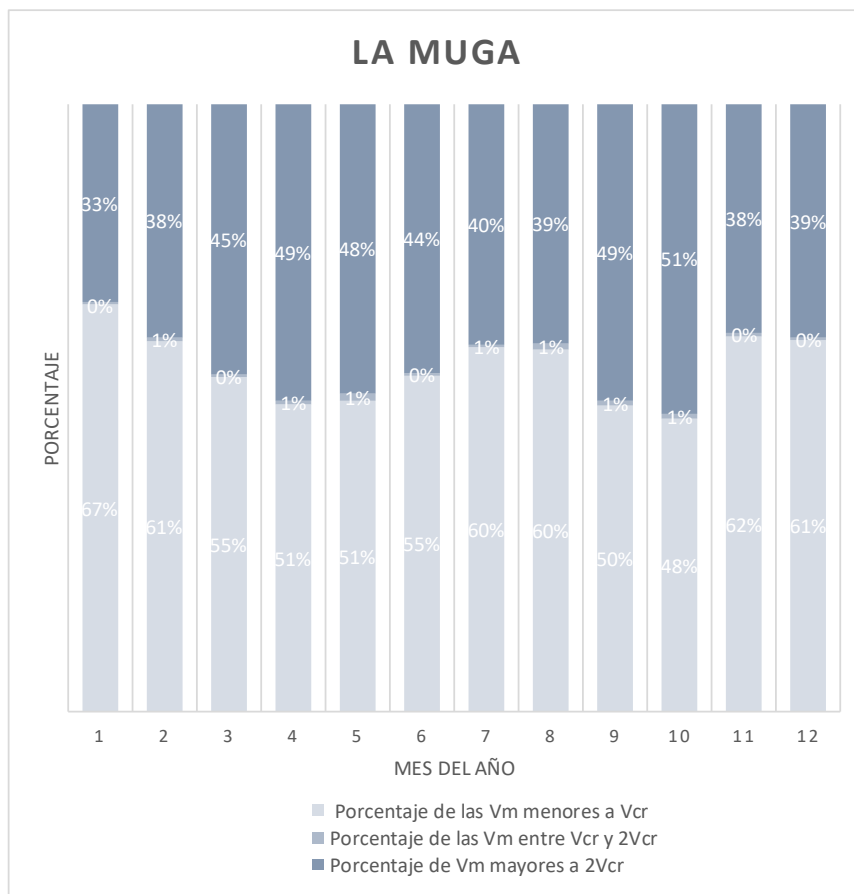


Gráfico 41: Distribución de las velocidades medias del oleaje (La Muga)

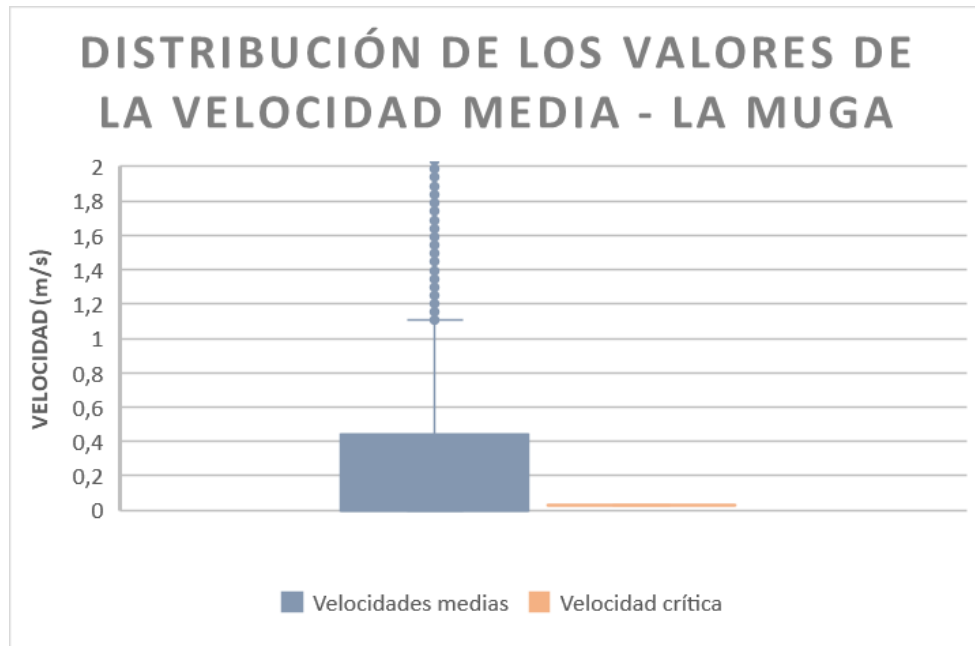


Gráfico 42: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (La Muga)

En el caso de la Muga, tanto por el *gráfico 41* como por el *gráfico 42*, parece evidente que la tendencia de esta desembocadura es a estar abierta, ya que los porcentajes por parte marítima muchos meses del año casi el 50% de las veces no se supera la velocidad crítica.

EL FLUVIÀ

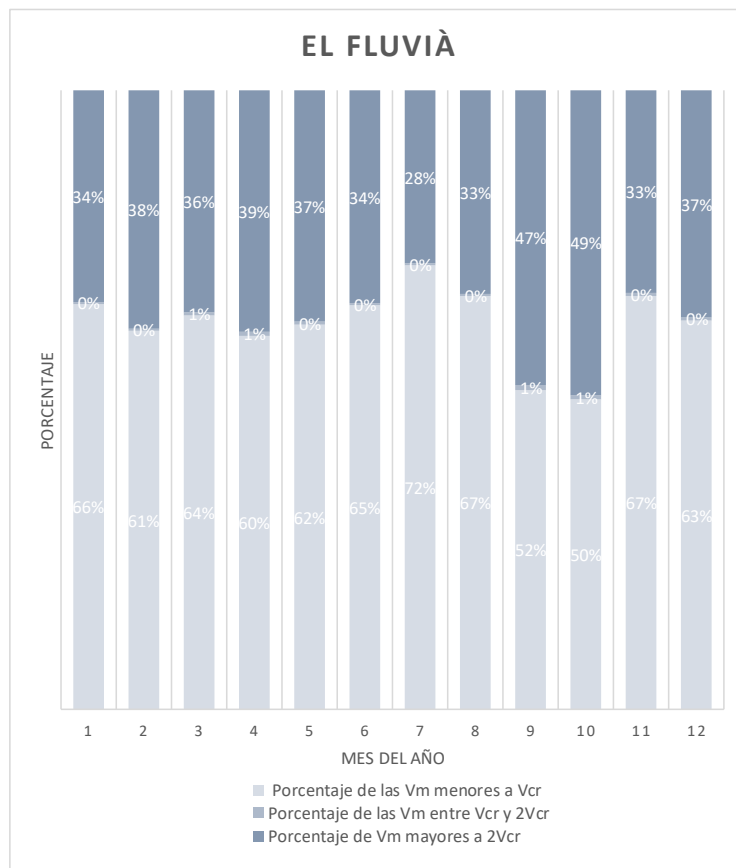


Gráfico 43: Distribución de las velocidades medias del oleaje (El Fluvià)

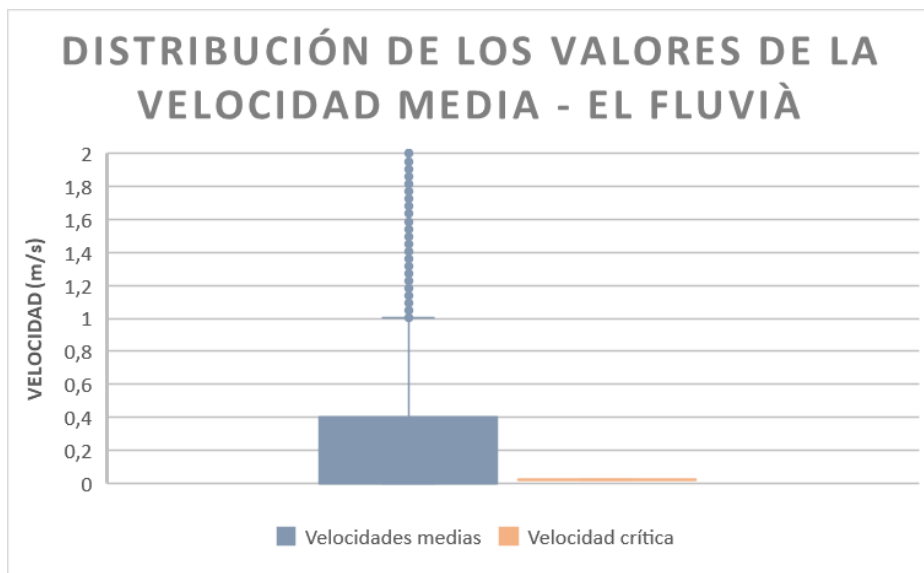


Gráfico 44: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (El Fluvià)

Como en el caso del río Muga, estos gráficos 43 y 44 solamente reafirman lo observado en el análisis anterior del oleaje, la mayoría de meses del año no se supera la velocidad crítica. Este gráfico no es de demasiada utilidad porque sirve para medir cuán mayor a la velocidad crítica es la velocidad media.

EL TER

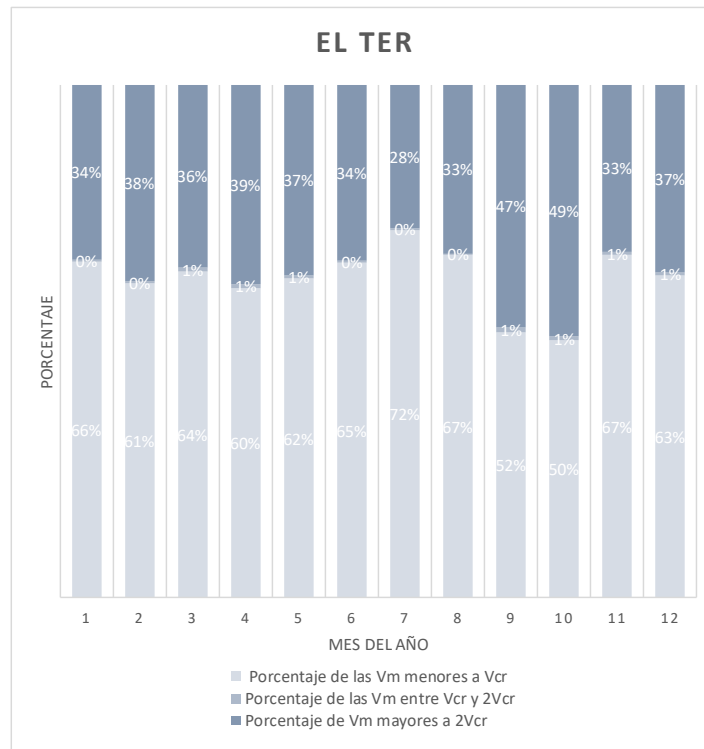


Gráfico 45: Distribución de las velocidades medias del oleaje (El Ter)

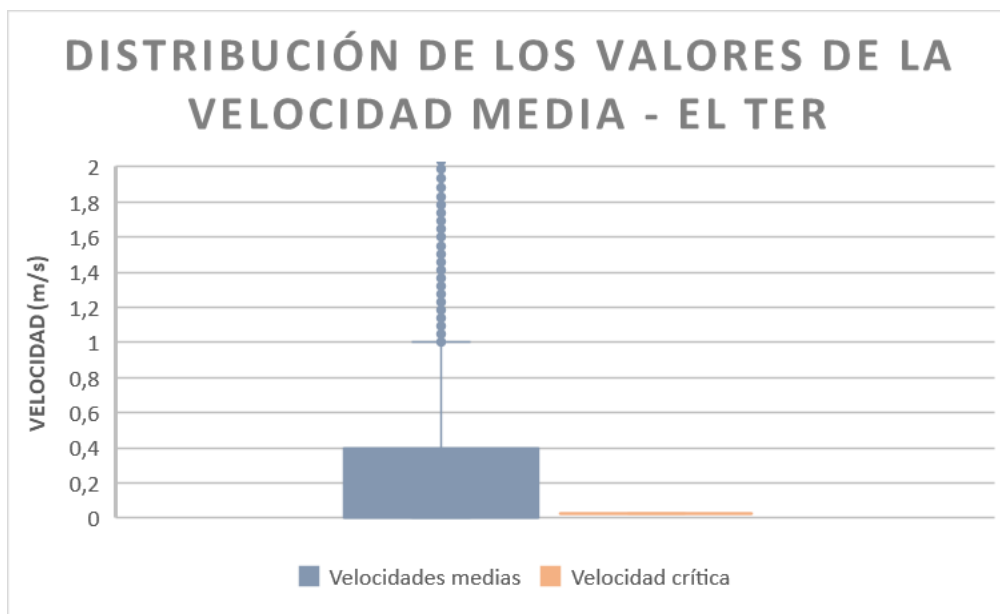


Gráfico 46: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (El Ter)

De nuevo parece que la zona de Girona da lugar a porcentajes mayores a la mitad en los que la velocidad no supera la velocidad crítica y que por tanto no hay movimiento de sedimento para el cierre de la desembocadura. En el gráfico 45 se puede observar que los meses donde este porcentaje está alrededor del 50% son los de septiembre y octubre.

EL TORDERA

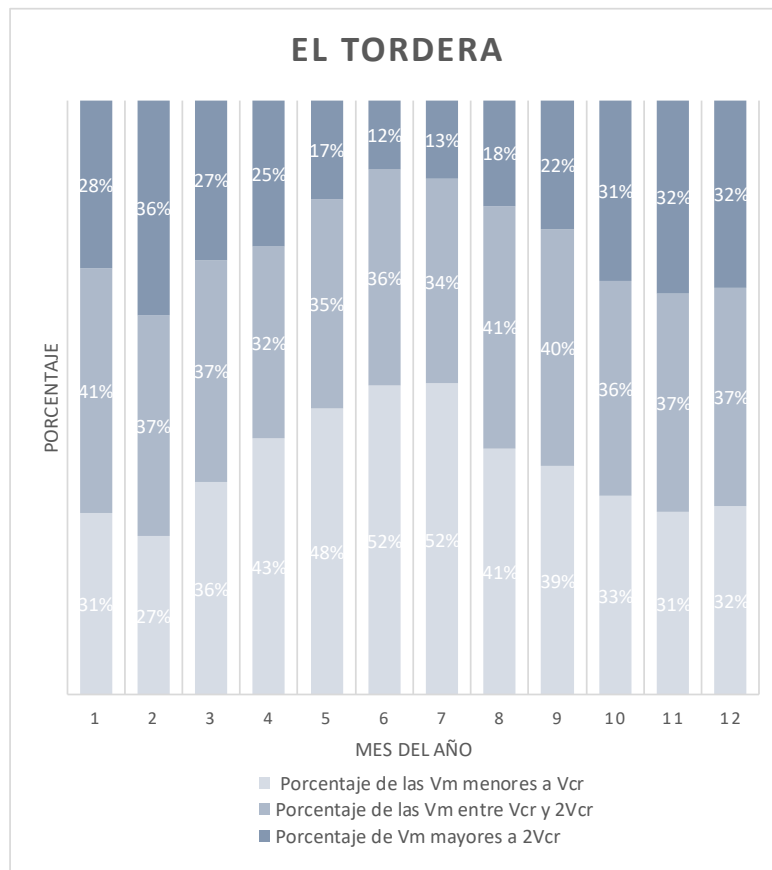


Gráfico 47: Distribución de las las velocidades medias del oleaje (El Tordera)

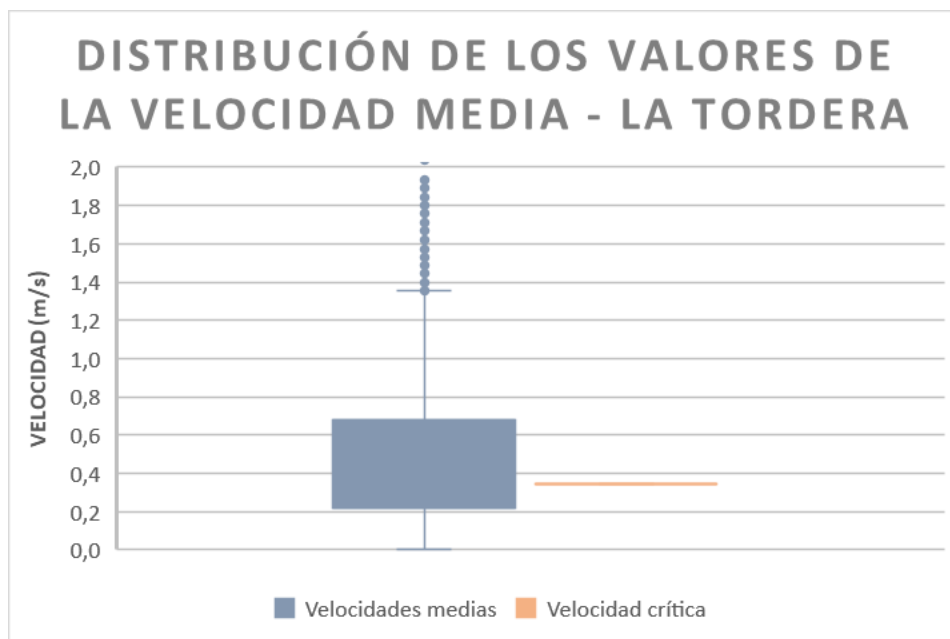


Gráfico 48: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (La Tordera)

Se puede apreciar en el gráfico 47 y 48 que hay porcentajes altos que superan la velocidad crítica pero hay bastante uniformidad. Es decir, las velocidades medias no están muy por encima de la velocidad crítica, quedan bastante repartidas de manera regular.

EL BESÒS

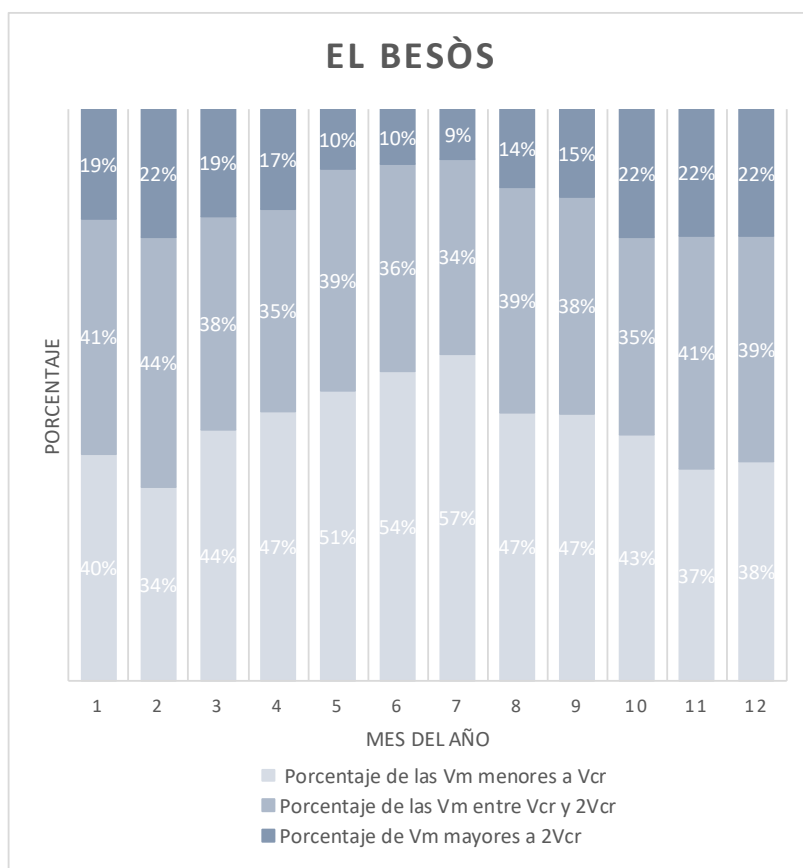


Gráfico 49: Distribución de las velocidades medias del oleaje (El Besòs)

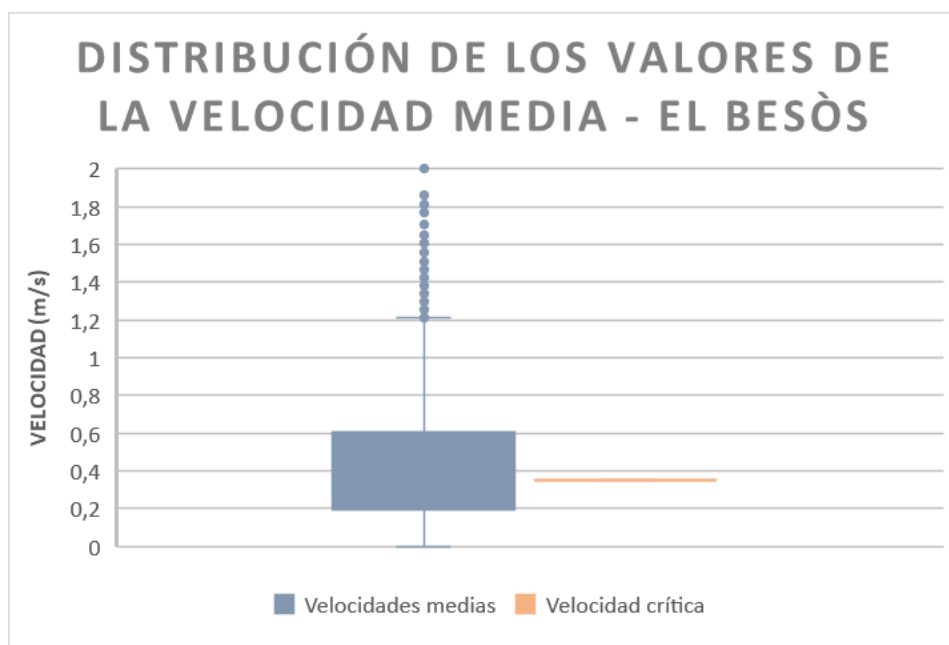


Gráfico 50: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (El Besòs)

Los gráficos 49 y 50 confirman que el porcentaje de veces al mes que se supera la velocidad crítica es casi siempre mayor a la mitad y que por tanto habrá cierre de desembocadura. Igual que en el caso anterior las velocidades están uniformemente repartidas.

EL LLOBREGAT

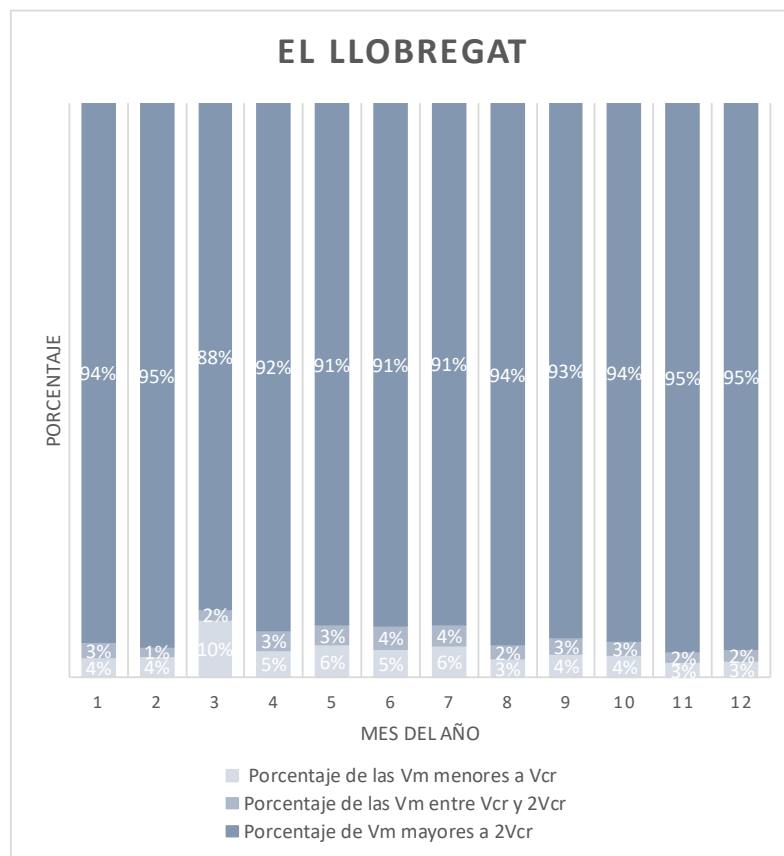


Gráfico 51: Distribución de las velocidades medias del oleaje (El Llobregat)

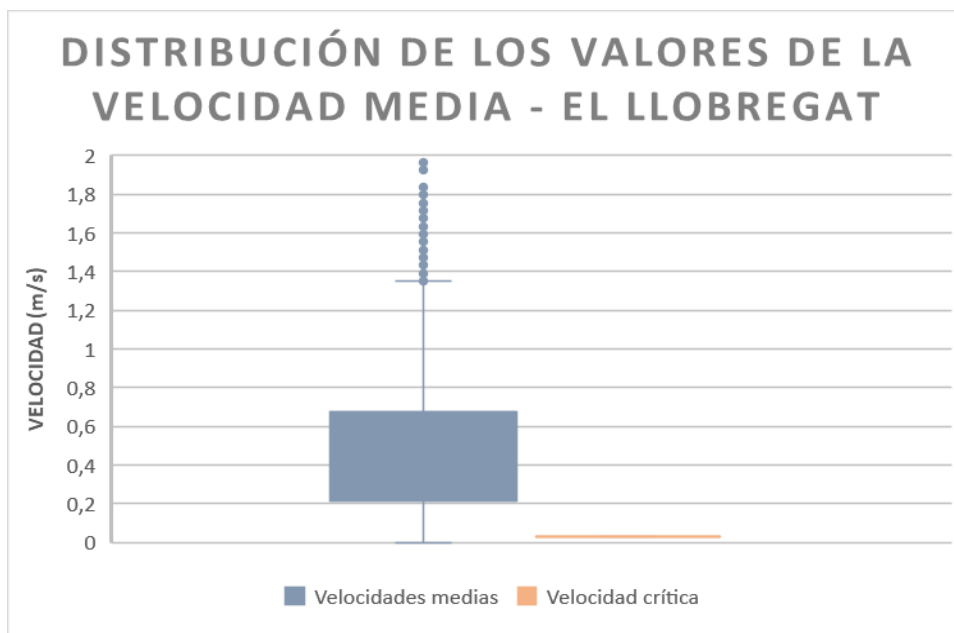


Gráfico 52: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (El Llobregat)

En los gráficos 51 y 52 se concluye que además de superar con un porcentaje alto todos los meses del año como se ha visto antes, esta velocidad está muy por encima de la velocidad crítica a partir de la cual comienza el movimiento de sedimento.

EL FOIX

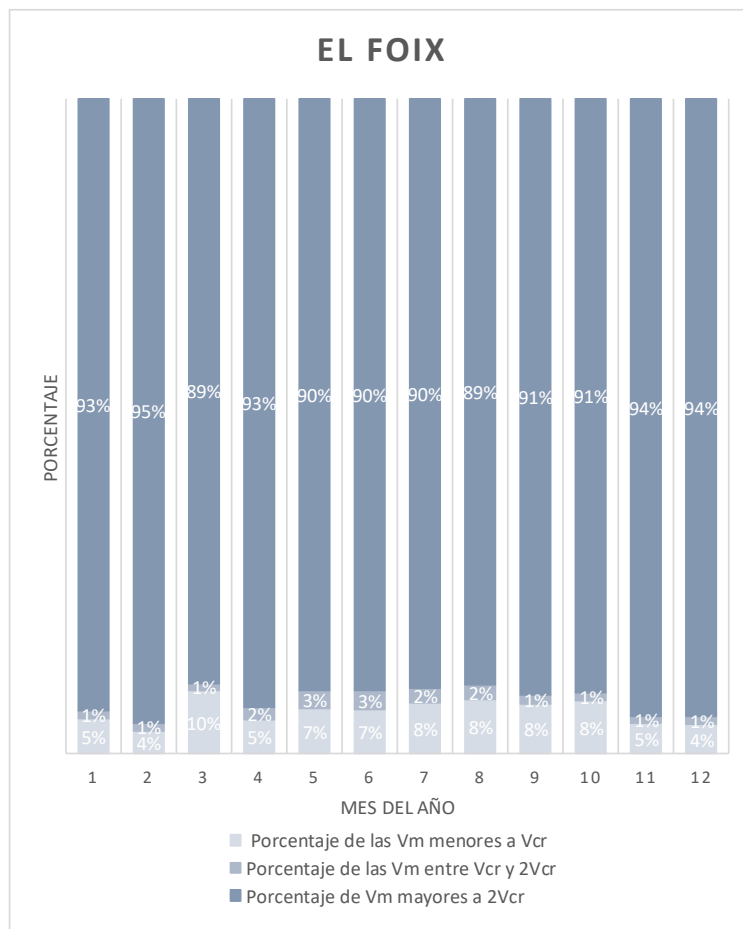


Gráfico 53: Distribución de las velocidades medias del oleaje (El Foix)

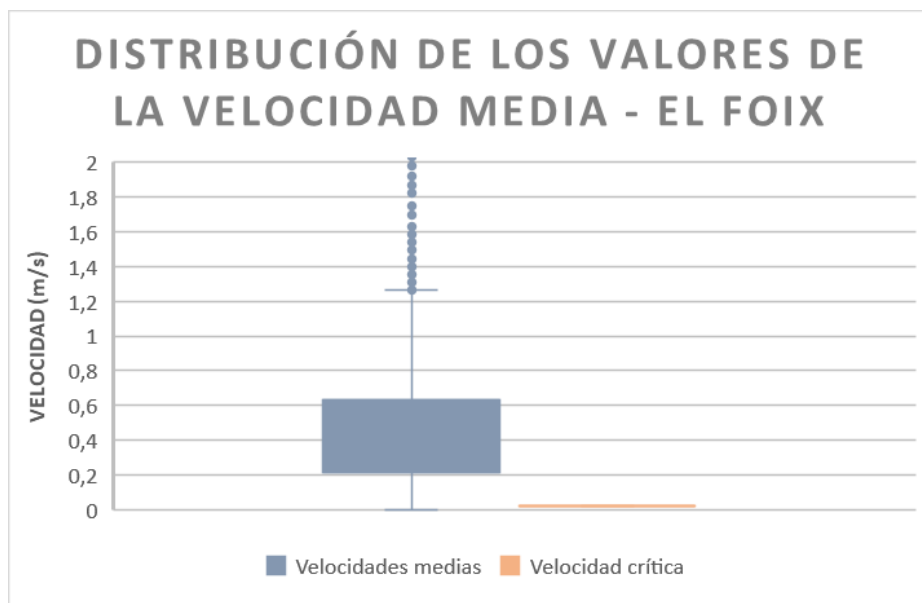


Gráfico 54: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (El Foix)

Como ocurre en el caso del Llobregat y se ha visto también en el gráfico del análisis anterior, la velocidad media supera con un porcentaje muy alto todos los meses del año. Además, con los gráficos 53 y 54 se ve como esta velocidad media es superior al doble de la crítica.

EL GAIÀ

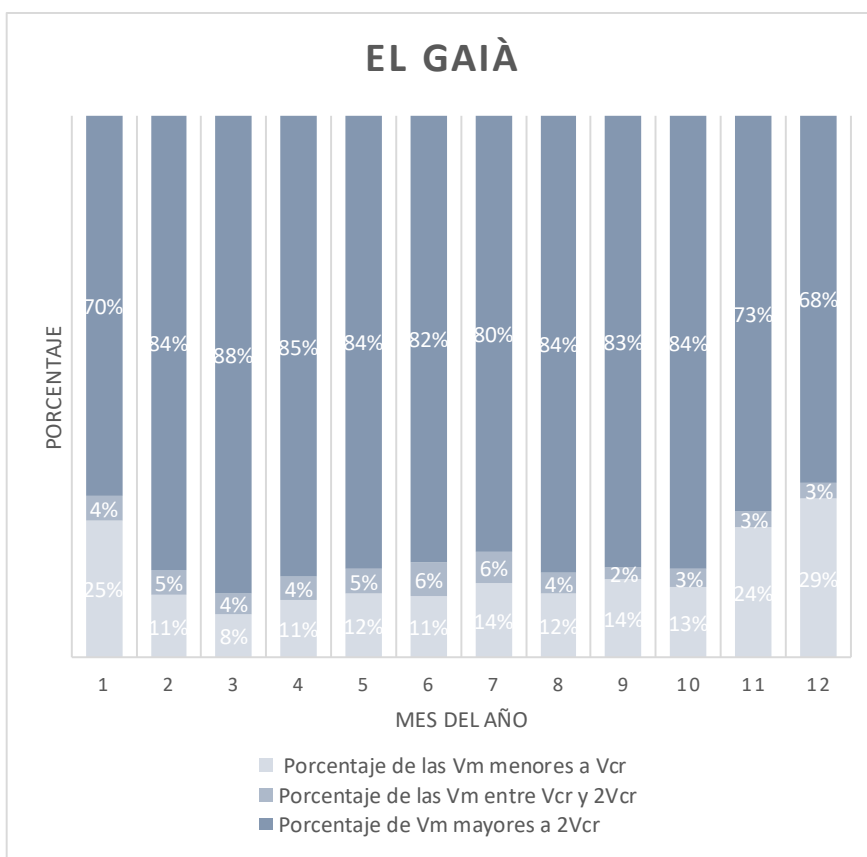


Gráfico 55: Distribución de las velocidades medias del oleaje (El Gaià)

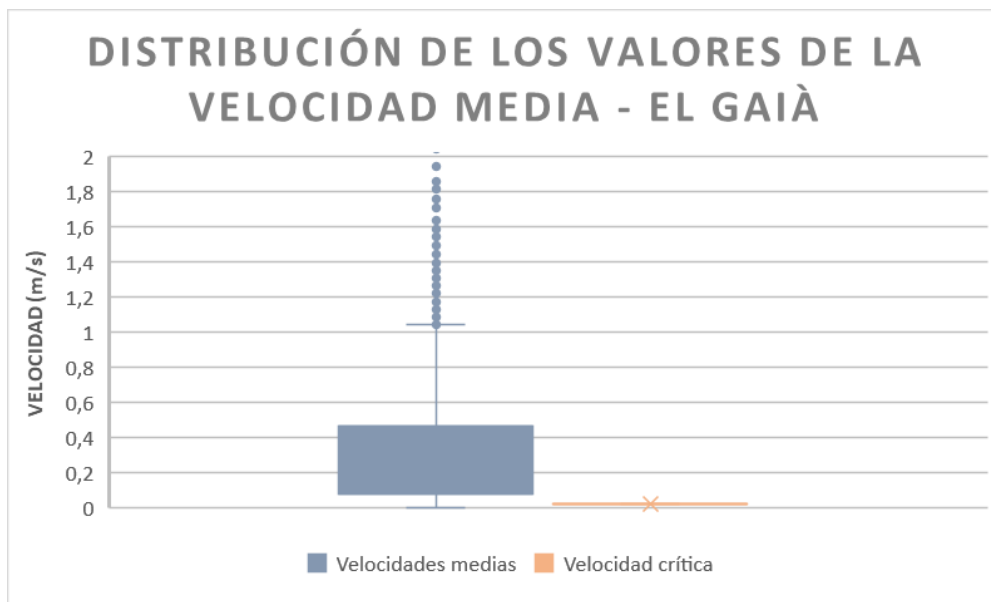


Gráfico 56: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (El Gaià)

Para el río Gaià, los gráficos 55 y 56 confirman lo que se había podido adelantar. Las velocidades superan a la velocidad crítica doblándola la mayoría de meses del año, siguiendo la tónica de los dos casos anteriores.

EL FRANCOLÍ

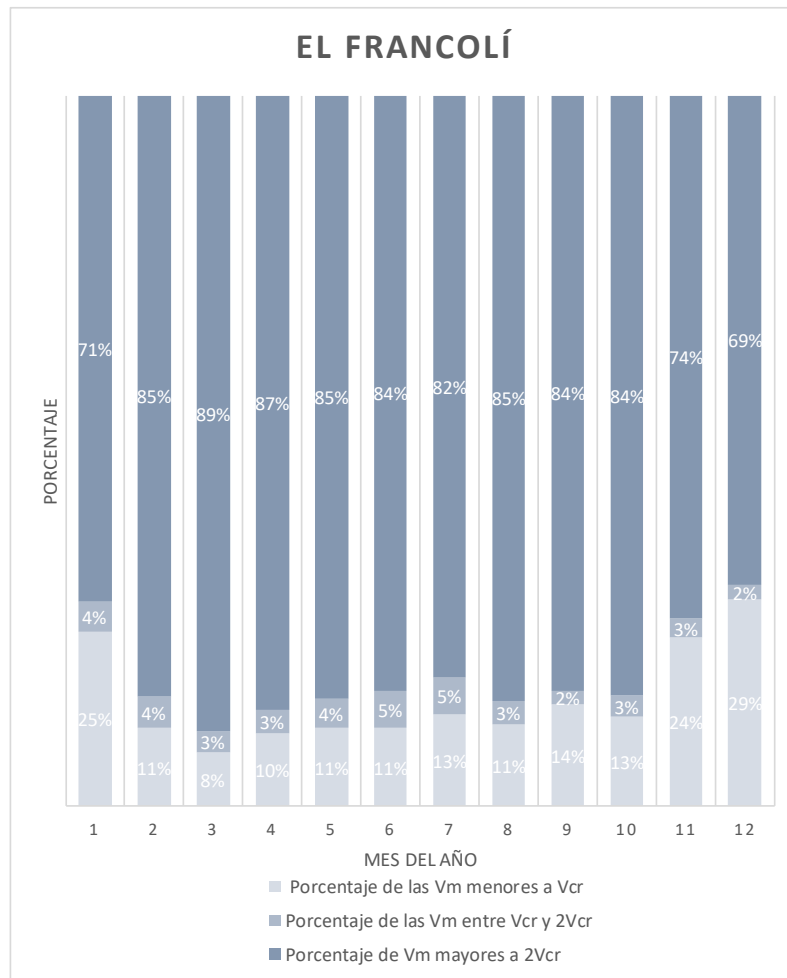


Gráfico 57: Distribución de las velocidades medias del oleaje (El Francolí)

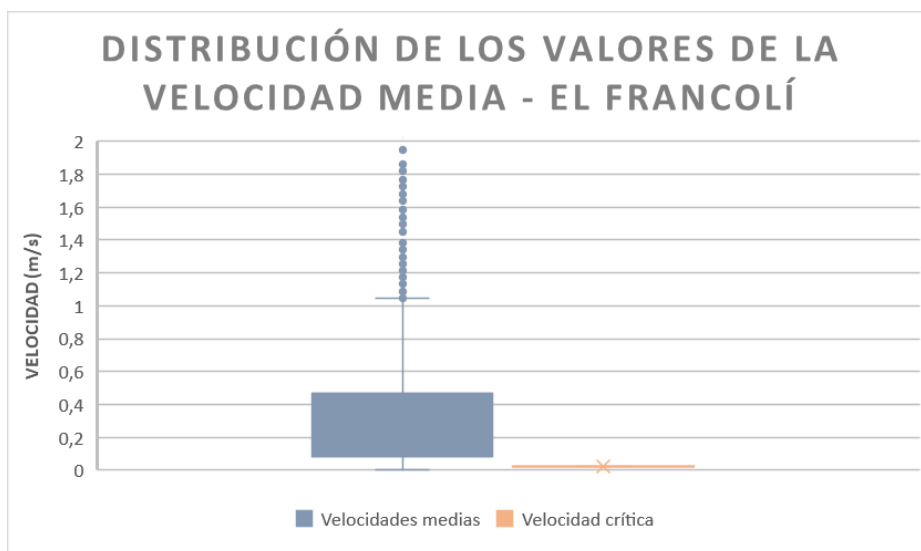


Gráfico 58: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (El Francolí)

Los gráficos 57 y 58 muestran que el río Francolí se comporta parecido a los anteriores. La velocidad crítica se supera con creces la mayoría de los meses del año, está muy por encima del umbral de movimiento.

EL EBRO

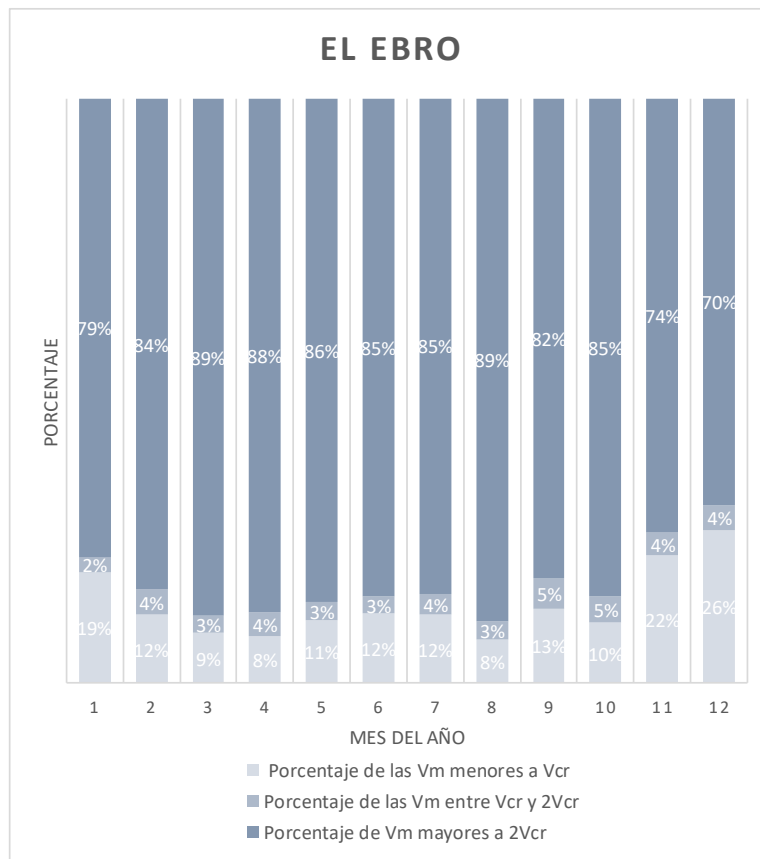


Gráfico 60: Distribución de las velocidades medias del oleaje (El Ebro)

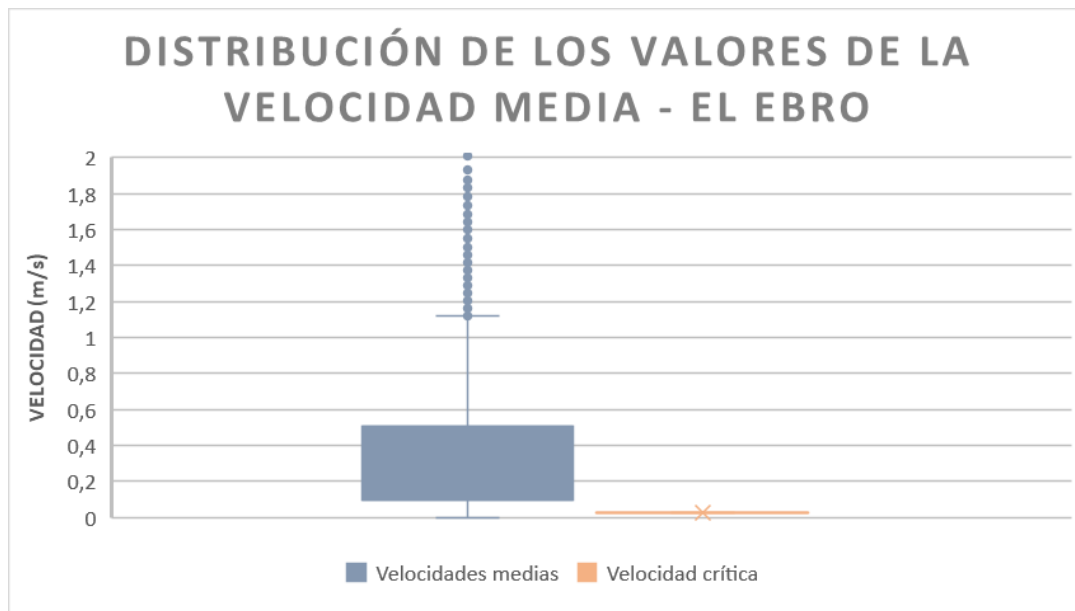


Gráfico 59: Distribución Box Plot de las velocidades medias del oleaje (El Ebro)

De los gráficos 59 y 60 cabe destacar que también tiene un comportamiento parecido a los casos anteriores y que por tanto se puede afirmar que habrá fuerza por parte marítima para contribuir al cierre de la desembocadura.

6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo del trabajo se tratarán las conclusiones y deducciones del capítulo 5 y se hará el modelo teórico de desembocadura para cada desembocadura de río estudiado.

Se ha utilizado un código para establecer un modelo de comportamiento para cada río. El primer dígito indicará la naturaleza de la desembocadura, si ésta es natural o antropizada (0, 1 o 2), los siguientes dos dígitos determinarán la superficie de la cuenca (magnitud del río del 1 al 10) y finalmente los siguientes dos dígitos expresarán el dominio de la desembocadura, si ésta está dominada por el río, por el mar o es mixta (del 1 al 10).

	NATURALEZA	SUPERFICIE	DOMINIO
<i>Muga</i>	0	2	5
<i>Fluvià</i>	1	2	3
<i>Ter</i>	0	4	1
<i>Tordera</i>	0	2	7
<i>Besòs</i>	1	2	7
<i>Llobregat</i>	2	6	8
<i>Foix</i>	1	1	8
<i>Gaià</i>	1	1	8
<i>Francolí</i>	1	1	7
<i>Ebro</i>	0	10	5

Tabla 4: Desglose del modelo teórico

Quedando un código para cada río de la siguiente manera:

RÍO	CÓDIGO
Muga	00205
Fluvià	10202
Ter	00401
Tordera	00207
Besòs	10207
Llobregat	20608
Foix	10108
Gaià	10108
Francolí	10107
Ebro	01005

Tabla 5: Códigos del modelo teórico de cada río estudiado

La primera extracción de los resultados que se puede hacer es que la idea inicial de río grande o río pequeño no afecta a la apertura o cierre de la desembocadura. Es decir, parece intuitivo que un río de velocidades bajas (poco caudaloso) no consiga abrir su desembocadura y acabar en el mar, pero se han visto algunos casos que sí. Esto es que hay otros factores además de la velocidad del agua del río al final de su recorrido, el diámetro del sedimento que encuentra en su desembocadura o si la desembocadura está canalizada por el hombre. Si el sedimento es fino, la velocidad crítica para moverlo también será pequeña, y por tanto implica que pueda haber apertura de desembocadura. El sedimento de la playa de la desembocadura del río juega un papel muy importante.

Otro parámetro discutido al hacer el modelo teórico de desembocadura bastante evidente y que se intuye desde el comienzo del proyecto es que ríos con importante presencia en el litoral catalán están bastante modificados por el hombre y a pesar de su aparte “fuerza” para abrir la desembocadura, en un escenario teórico no conseguirían llegar al mar, ganaría la parte marítima. En el modelo se han clasificado como 0, 1 o 2 dependiendo del nivel de modificación. Es decir, hay algunos que claramente han tenido un encauzamiento, como es el caso del Llobregat, en cambio otros parece que al haber construcciones en su proximidad inmediata el cauce del río en la desembocadura no se comportará de manera totalmente natural.

Otra consecuencia vista es la situación de los ríos, sobre todo para la acción del mar. Claramente se ve en el capítulo anterior (que ya se adelantaba este hecho) que los ríos con desembocadura cercana o en zona de costa con la misma orientación tienen un comportamiento parecido. Esto tiene sentido porque los datos utilizados para los ríos de cada comarca corresponden a la propagación de una misma fuente de información, el cambio fue introducido al insertar la orientación de la costa en cada caso. Además, lugares cercanos tienden a tener un diámetro de sedimento de playa parecido y un clima de oleaje también parecido. De este fenómeno se extrae la idea o conclusión de que la orientación de la costa influye mucho y la zona de la costa que se está estudiando.

Un aspecto importante para discutir en el modelo es la anchura de la desembocadura. En el último dígito del código del modelo se determina el dominio de la desembocadura, apertura, cierre o mixto. Sin embargo, hay ríos que hay un claro dominio de la parte terrestre como por ejemplo el Ebro. Se le ha dado una clasificación de mixto pero debería ser de dominio del río completamente. Esto es porque la desembocadura del Ebro es muy ancha y grande y la velocidad media del oleaje debe sobrepasar la crítica durante mucho tiempo y continuamente

para tapar ese volumen tan grande, se necesita un transporte de sedimento muy elevado y constante.

Para un futuro donde el cambio climático estará mucho más presente, y relacionado con la previsión de lo que puede ocurrir en el futuro con la dinámica de desembocaduras en el paisaje litoral catalán, se ha analizado qué ocurriría en el caso de suponer un caudal ecológico futuro para el Ebro. Se trata de estudiar si este caudal ecológico de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ que se pretende imponer, sería suficiente para mover el sedimento del delta del Ebro y mantener la desembocadura abierta. Pues bien, se ve como la velocidad asociada a este caudal no llegaría a la velocidad crítica a partir de la cual comienza el movimiento de sedimento del fondo del río. Imponiendo este caudal y con el oleaje existente en esa zona, saldría que “gana” el mar y se cierra la desembocadura. Esto da mucho que pensar y, sobre todo, debería dar lugar a un replanteamiento de este caudal ecológico futuro propuesto para el río Ebro.

Para continuar con la discusión de resultados, el *gráfico 40* muestra unos resultados bastante interesantes. Como se ha deducido más arriba, parece que hay un comportamiento parecido para zonas de oleaje cercanas, y esto queda comprobado al graficar la capacidad de cierre de todos los ríos. Por un lado están los que tienen mucha fuerza para mover y cerrar la desembocadura (porcentajes alrededor del 80% de veces que se supera la velocidad crítica). Éstos serían el Llobregat, el Foix, el Ebro, el Gaià y el Francolí. Son los ríos considerados en la zona de Tarragona añadiendo el Llobregat. Por otra parte están el Besòs y el Tordera que pertenecen a los datos recolectados de la boya de Barcelona y tienen una capacidad que varía durante el año de la manera esperada, más capacidad de movimiento en los meses de invierno y poca en los meses de verano. Finalmente los ríos de más al norte que pertenecen a la zona de Girona son el Ter, el Fluvià y la Muga. En esta zona el porcentaje de veces que se supera la velocidad crítica llega apenas alrededor del 50% y solamente en unos meses en primavera y otoño. Esto se debe a que los datos provienen también de la misma fuente y se ha propagado el oleaje conforme la orientación de la costa en cada caso.

Por último, cabe mencionar que las rieras de Pineda y Arenys no se tienen datos suficientes para hacer un estudio de este tipo, como los demás ríos. Tienen un comportamiento completamente estacional y torrencial causando normalmente daños severos que haría falta analizar exhaustivamente qué ocurre en cada caso y cómo se podría modelizar este comportamiento.

7. CONCLUSIONES

Se ha analizado el comportamiento morfodinámico de las desembocaduras en el litoral catalán y se ha observado los siguientes modelos de comportamientos.

Una de las conclusiones más contundentes y claras es que lo que se intuye de la apertura de desembocaduras es más probable en los meses de invierno (u otoño y primavera). Por regla general los meses de verano son menos caudalosos y por tanto como tónica para todos los ríos del análisis en verano habrá menos probabilidad de apertura. Este comportamiento puede darse por seguro siempre y cuando no haya avenidas que en ese caso sería un estudio aparte.

Otra argumentación extraída de este estudio es que los ríos que han sido encauzados o que están regulados por el hombre tienden a un cierre de desembocadura. Es decir, la regulación y el impedimento de un funcionamiento natural y libre del río provoca una alteración en su curso dando lugar a menos fuerza por parte del río y que por tanto hay que evitar. Modificando el curso del río se consigue una apertura constante de la desembocadura pero siempre a costa de perder naturalidad. De cara al futuro este fenómeno va a más y a peor, con lo cual hay que tener especial conciencia de esto para intentar minimizarlo lo máximo posible.

Una de las conclusiones más relevantes es el efecto del cambio climático en esta dinámica tierra-mar que se da en las desembocaduras de los ríos. La dinámica del litoral y de la playa, la morfodinámica, se define por la interacción de varios agentes, el nivel medio del mar y del oleaje con el sedimento de la playa y el aportado por los ríos. Si uno de estos agentes se modifica los demás agentes también se ven afectados, están interrelacionados. Un aumento del oleaje en rotura implica más transporte de sedimento y por tanto una redistribución de la arena de la playa (cierre de desembocaduras, por ejemplo). A medio plazo el factor más importante es el del sedimento transportado por el oleaje principalmente longitudinal que puede dar lugar a erosiones peligrosas para la línea de costa. En cambio a muy largo plazo sería la subida del nivel del mar el principal agente que daría lugar a problemas de erosión en una dimensión transversal también.

8. REFERENCIAS

Caudales del río Ebro: Confederación hidrológica del Ebro CHE

- Disponible en:

<http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=14301>

- Última visita:

15/05/18

Ilustración ríos de Cataluña

- Disponible en:

<https://dreu1975.wordpress.com/2014/10/06/el-relleu-de-catalunya/>

- Última visita:

03/03/18

Mediciones de desembocaduras de ríos

- Disponible en:

www.googlemaps.com

<http://www.icc.cat/vissir3/>

- Última visita:

04/05/18

Caudales diarios de los ríos analizados: Agència Catalana de l'aigua (ACA)

- Disponibles en:

<http://aca->

[web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?nfpb=true&pageLabel=P41800277491338804707154](http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?nfpb=true&pageLabel=P41800277491338804707154)

<http://aca-web.gencat.cat/recursos/sig/public/VisorPEF.html>

<http://aca-web.gencat.cat/sdim/visor.do>

- Última visita:

01/06/18

Sedimento de las playas

- Disponible en:

http://territori.gencat.cat/ca/01_departament/documentacio/territori-i-urbanisme/ordenacio_territorial/llibre_verd_estat_de_la_zona_costanera/

- Última visita:
27/03/18

Datos del río Muga: trabajo de fin de grado

- Disponible en:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93134/Anàlisi%20de%20dades%20hidrològiques.%20Aplicació%20al%20cas%20de%20la%20conca%20de%20la%20Muga.pdf>
- Última visita:
03/03/18

Localización de ríos y rieras del litoral catalán

- Disponible en:
<http://serveiseducatiu.xtec.cat/altpenedes/altpenedes-coneguemplacomarca/rius-i-rieres/>
- Última visita:
22/02/18

Rieras de Cataluña

- Disponible en:
https://parcs.diba.cat/es/web/montnegre/geografia-fisica#hidrologia_anc
- Última visita:
15/02/18

Lista de estaciones de aforo en Cataluña

- Disponible en:
https://ca.wikipedia.org/wiki/Llista_d%27estacions_d%27aforament_de_Catalunya
- Última visita:
20/03/18

Dinámica del oleaje y teoría de propagación

- Disponible en:
<https://sites.google.com/site/sistemaslitorales/diagnosi/destruccio/la-dinamica-litoral>
- Última visita:
04/04/18

Datos del río Ter

- Disponible en:

https://www.ecured.cu/R%C3%ADo_Ter

- Última visita:
03/03/18

Anejo 3, Propagación del Oleaje, Anjeo 3, UPCommons:

- Disponible en:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3386/40860-12.pdf?sequence=12&isAllowed=y>

- Última visita:
20/05/18

Enginyeria de Costes, UPCommons:

- Disponible en:

https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250241/2011/Tema_02-3_Propagacion_UPC.pdf%3Bjsessionid=D1939022E5E2AA9BFB7C4019931922F1

- Última visita:
29/05/18

(2016) *Tercer Informe sobre El Canvi Climàtic a Catalunya*, Barcelona, España, Institut d'Estudis Catalans i Generalitat de Catalunya

Martin Vide, JP, (2002), *Ingeniería de Ríos*, Barcelona, España, EDICIONES UPC

Kamphuis, JW, (2000), *Introduction to Coastal Engineering and Management*, World Scientific

Komar, PD, (1998), *Beach Processes and Sedimentation*, Prentice-Hall

Ponencia Josep Gutiérrez Camarós, (2004), *Fonaments hidrogeològics de les rieres del Maresme*, Jornada de Rieres, Cataluña, España

Molinet Coll, V, (2007), *Restauración del Delta del Ebro I. Recuperación de la configuración del Delta del Ebro*, Minor thesis, UPCommons, Barcelona, España

Panareda. J. M. y Boccio. M., (2008), *Efectos de la dinámica litoral inducidos por la actividad humana en áreas urbanizadas: el caso del Maresme (Barcelona)*, Barcelona, España

Almazán Garate, JL, Palomino Monzón, MC, JR García Montes, JR, (2000), *Introducción a la dinámica de las formas costeras*, Escuela técnica superior de ingeniería de caminos, canales y puertos Universidad politécnica de Madrid, Madrid, España

Prof, Y. Niño, (2004), *Transporte hidráulico de sedimentos, Hidraulica Fluvial y transporte de sedimentos*, España

Corpus U S Engineers, Army. (2002). *Coastal Engineering Manual, Engineer Manual, EM 1110-2-1100 (Part II and Part III)*

M. y A., (junio 2010), *Estudi morfodinamica del riu fluvià, UPC Departament d'Enginyeria Hidraulica*, Barcelona, España

Damgaard Christensen, E, (2017), *Coastal sediment transport dynamics and shoreline developments*, Technical University of Denmark, Copenhagen, Denmark

Roulund, A. et al., (2016) *Parametric equations for Shields Parameter and wave orbital velocity in combined current and irregular waves*, ICSE2016, Lyngby, Copenhagen, Denmark

