

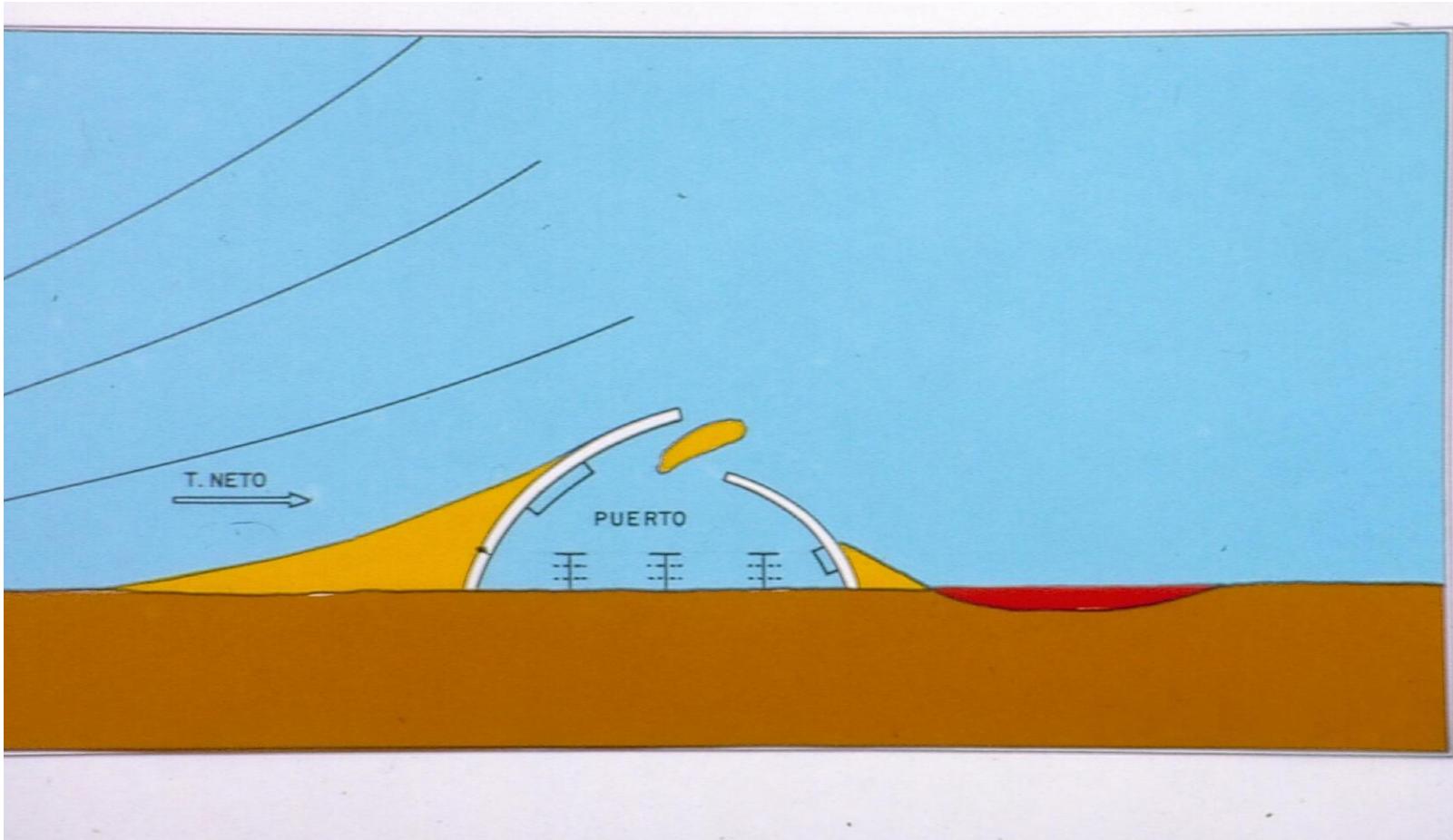
# Interacción Puerto-Costa

## *Parte 2. Aspectos dinámicos*

José A. Jiménez  
jose.jimenez@upc.edu

Laboratori d'Enginyeria Marítima  
ETSECCPB  
Universitat Politècnica de Catalunya

# Puertos Barrera en Costas Dominadas por el Transporte Longitudinal



## Puertos Barrera en Costas Dominadas por el Transporte Longitudinal

*Costas en las que existe un transporte longitudinal neto de sedimento elevado.*

*La construcción de un puerto barrera supone introducir un obstáculo que atraviesa la zona donde se produce el transporte longitudinal.*

*Interacción generada en dos fases*

*Inicial* (desde el mismo momento de la construcción y durante la fase constructiva): *impacto sobre la zona adyacente.*

*Final* (transcurrido un cierto tiempo de actuación del efecto barrera): *impacto sobre la zona adyacente + aterramiento.*

## Interrupción del transporte de sedimento longitudinal por el dique de abrigo

Dependiente del tamaño relativo del dique de abrigo vs dimensiones de la zona de transporte.

Funcionamiento variable en el tiempo.



## Variación temporal de la interrupción del transporte de sedimento longitudinal por el dique de abrigo

Variación de las condiciones del oleaje incidente – variación del ancho de la zona de transporte



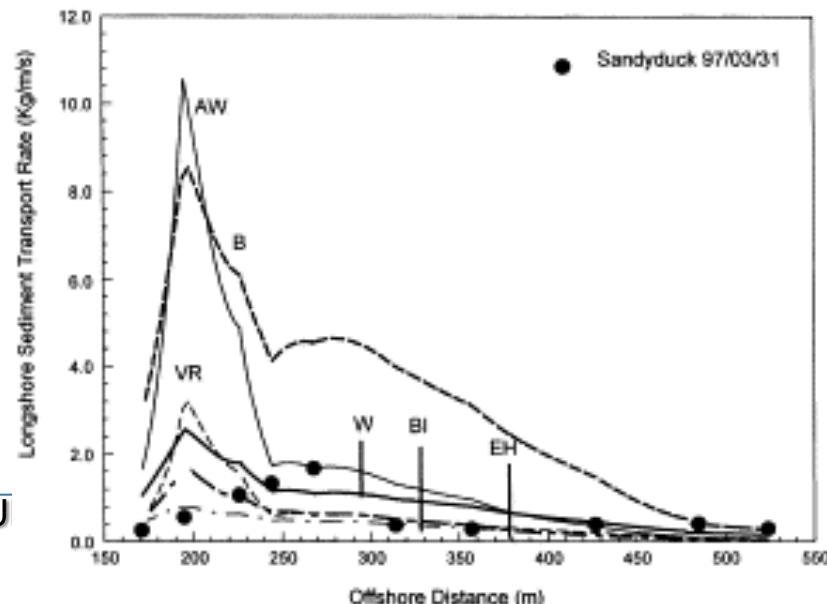
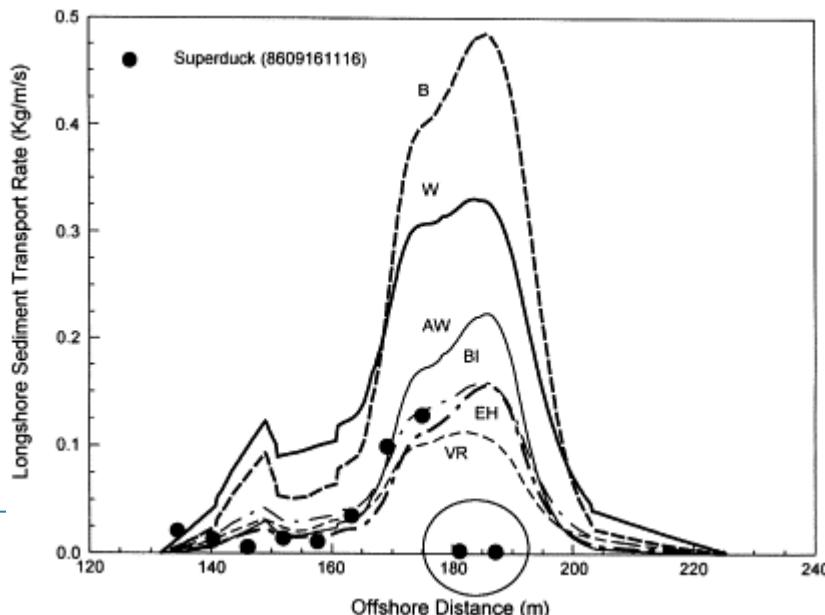
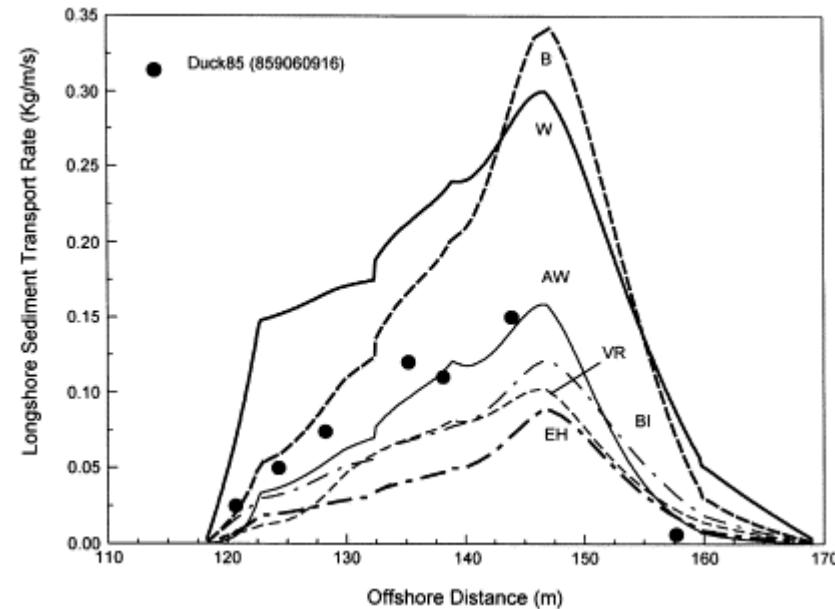
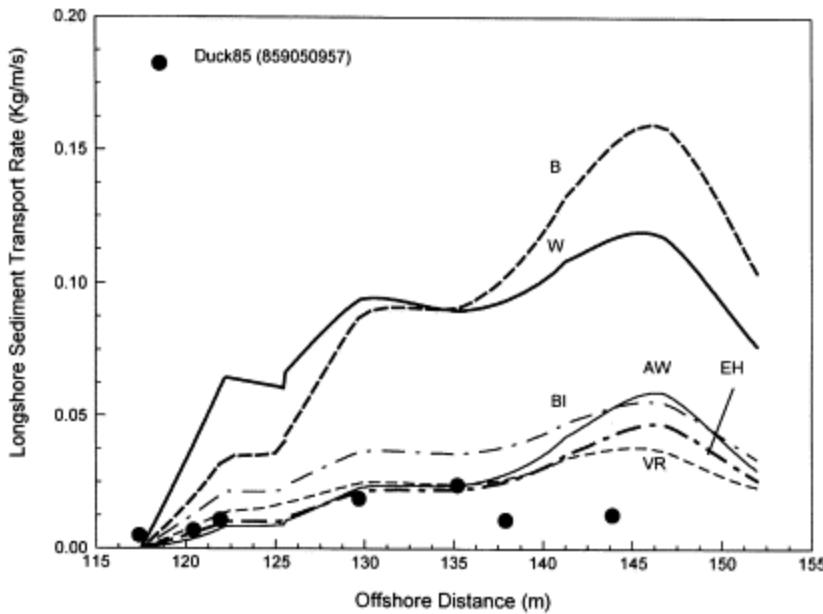
## Variación de las condiciones del oleaje incidente – variación del ancho de la zona de transporte (procedimiento)

Clima de oleaje direccional detallado (buena discriminación de la variabilidad en alturas de ola – no “oleaje morfológico”).

$$(H, T, \theta, f)_n$$

Determinación para cada condición de oleaje la magnitud y distribución del transporte longitudinal de sedimento (se requiere la utilización de un modelo de transporte local de SI o una “función de repartición”).

$$(H, T, \theta, f)_n \rightarrow SI(x)_n$$



GITU

Formula	Longshore sediment transport formula	Coefficients	Verification data		
			D (mm)	$\tan\beta$	Exp. condition
Bijker	$q_{b,B} = Ad_{50} \frac{V}{C} \sqrt{g} \exp \left[ \frac{-0.27(s-1)d_{50}\rho g}{\mu \tau_{b,we}} \right]$	$A = 1-5$	0.23	0.07	$H_0 = 1.6 \text{ m};$ $T = 12.0 \text{ s};$ $\alpha = 13^\circ$
	$q_{s,B} = 1.83q_{b,B} \left[ I_1 \ln \left( \frac{33h}{r} \right) + I_2 \right]$				
Engelund–Hansen	$q_{t,EH} = V \frac{0.05C\tau_{b,we}^2}{(s-1)^2 d_{50} \rho^2 g^{5/2}}$	—	0.19–0.93	—	—
	$q_{t,W} = A \left[ \frac{(\tau_{b,we} - \tau_{b,er})V}{\rho g} \right]$				
Watanabe	$q_{t,AW} = V \frac{1}{1-p} d_{35} \left( \frac{V}{V_*} \right)^n \frac{C_{d,gr}}{A^m} (F_C - A)^m$	$A = 0.5-2$ (regular–irregular)	0.2–2.0	0.2–0.01	$H_0 = 0.02-2.4 \text{ m};$ $T = 1.0-18.0 \text{ s};$ $\alpha = 15-45^\circ$
Ackers–White (not modified)	$q_{t,AW} = V \frac{1}{1-p} d_{35} \left( \frac{V}{V_*} \right)^n \frac{C_{d,gr}}{A^m} (F_C - A)^m$	$A, m, n, C_{d,gr}, F_C$ (see Appendix A)	0.2–0.61	—	$h = 0.18-7.17 \text{ m}$
Van Rijn	$q_{b,VR} = 0.25\gamma\rho_s d_{50} D_*^{-0.3} \sqrt{\frac{\tau'_{b,we}}{\rho}} \left[ \frac{\tau'_{b,we} - \tau_{b,er}}{\tau_{b,er}} \right]^{1.5}$	—	0.1–0.2	—	$H_0 = 0.07-0.2 \text{ m};$ $T = 1.0-2.0 \text{ s};$ $\alpha = 90^\circ$
	$q_{s,VR} = c_a V h \frac{1}{h} \int_a^h \frac{v}{V} \frac{c}{c_a} dz = c_a V h F$				
Bailard–Inman	$q_{t,BI} = 0.5\rho f_w u_0^3 \frac{e_b}{(\rho_s - \rho)gt \tan\gamma} \left( \frac{\delta_v}{2} + \delta_v^3 \right)$	$e_b = 0.1; e_s = 0.02$	0.175–0.6	0.034–0.138	$H_0 = 0.05-1.44 \text{ m};$ $T = 1.0-11.0 \text{ s};$ $\alpha = 2.8-18.9^\circ$
	$+ 0.5\rho f_w u_0^4 \frac{e_s}{(\rho_s - \rho)gw_s} (\delta_v u_0^*)$				

## Variación de las condiciones del oleaje incidente – variación del ancho de la zona de transporte (procedimiento)

Integración de todas las condiciones para obtener una distribución del transporte longitudinal anual.

$$SI(x) = \sum SI(x)_n$$

Determinación de la fracción interrumpida por el puerto.

$$\text{Re } t = \int_{x=0}^{x=xd} Sl(x)dx / \int_{x=0}^{x=\infty} Sl(x)dx$$

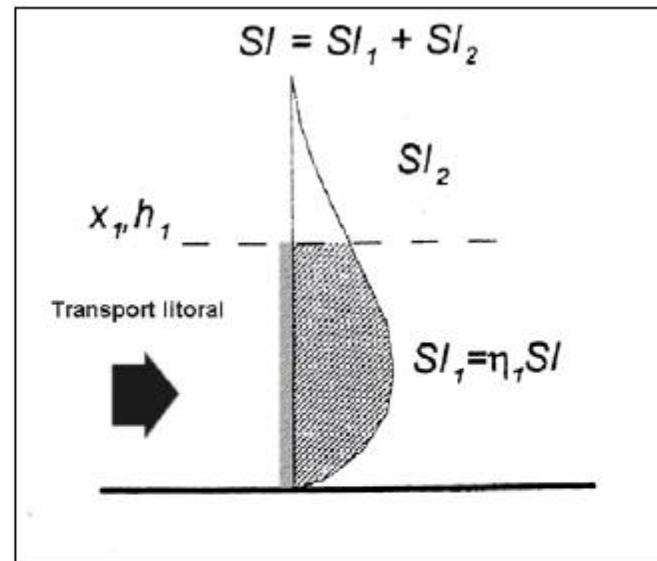
**BYPASS**

$$SI = SI \text{ original} * BYP$$

Bailard (1985)

$$SI = SI_1 + SI_2$$

$$SI_1 = \eta_1 \cdot SI$$



$$\eta_1 = -1.69 x_1^{*4.11} + 2.34 x_1^{*3.5} \quad \text{si } x_1^* \leq 1$$

$$\eta_1 = 1 - 0.35 x_1^{*-3.61} \quad \text{si } x_1^* > 1$$

$$x_1^* = \frac{h_1}{h_b}$$

on

$h_1$  : fondaria en el morrot del dic

$h_b$  : fondaria en el punt de rotura del onatge

## BYPASS

$$SI = SI \text{ original} * BYP$$

$$BYP = 1 - \frac{D_G}{D_{LT}} , \quad (D_G \leq D_{LT}) \quad D_{LT} = \frac{1.27}{\gamma} (H_{1/3})_b$$

1.27 = conversion factor between one-tenth highest wave height and significant wave height

$\gamma$  = breaker index, ratio of wave height to water depth at breaking

$(H_{1/3})_b$  = significant wave height at breaking

If  $\gamma = 0.78$

$$D_{LT} \approx 1.6(H_{1/3})_b$$

## Variación temporal de la interrupción del transporte de sedimento longitudinal por el dique de abrigo

Variación de la posición de la línea de orilla en el dique de abrigo – desplazamiento hacia mar de la zona de transporte



# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

© José A. Jiménez

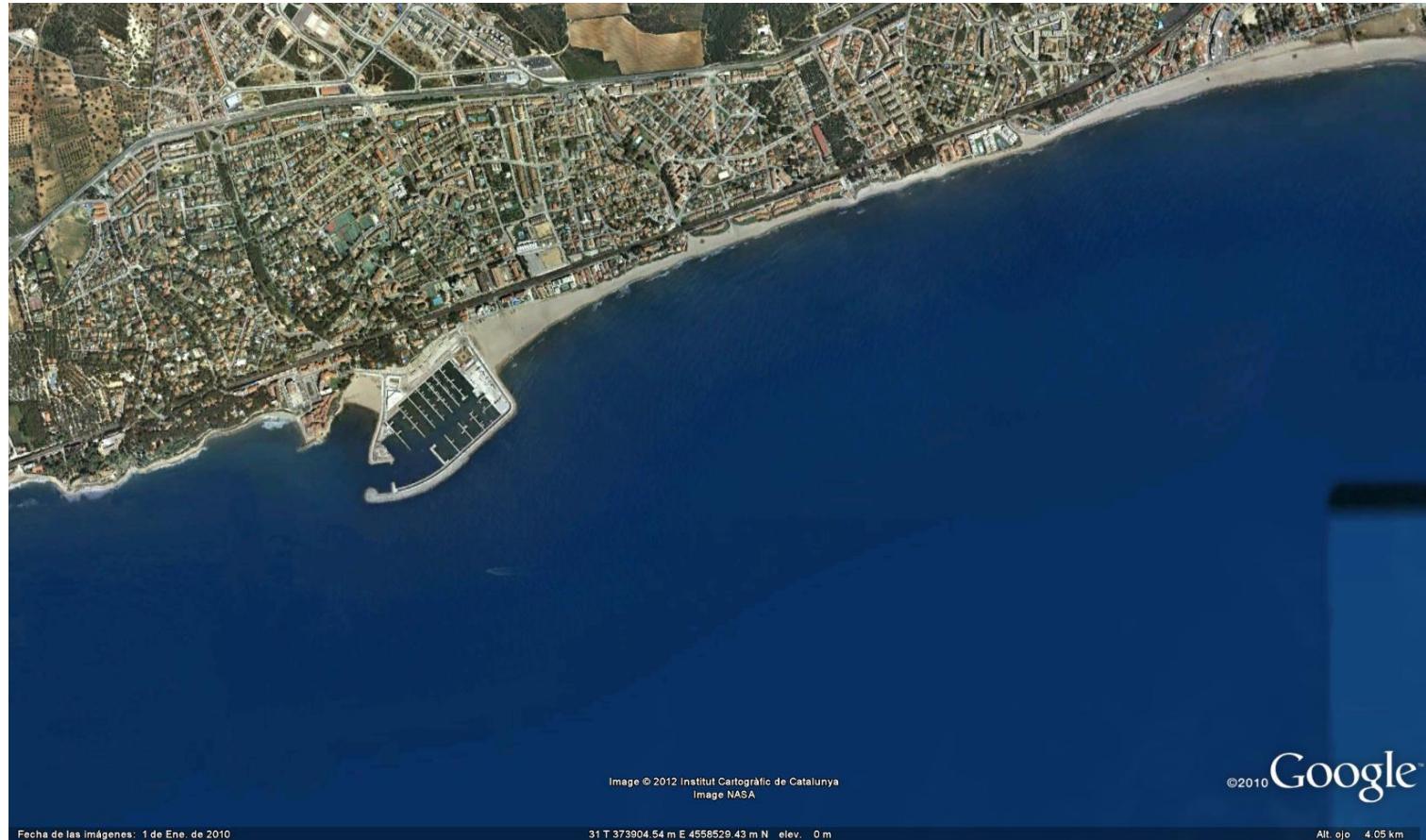


Image © 2012 Institut Cartogràfic de Catalunya  
Image NASA

©2010 Google

Fecha de las imágenes: 1 de Ene. de 2010

31 T 373904.54 m E 4558529.43 m N elev. 0 m

Alt. ojo 4.05 km

## Variación de la posición de la línea de orilla en el dique de abrigo – (procedimiento)

Determinación de la fracción de transporte interrumpida por el puerto a lo largo del tiempo.

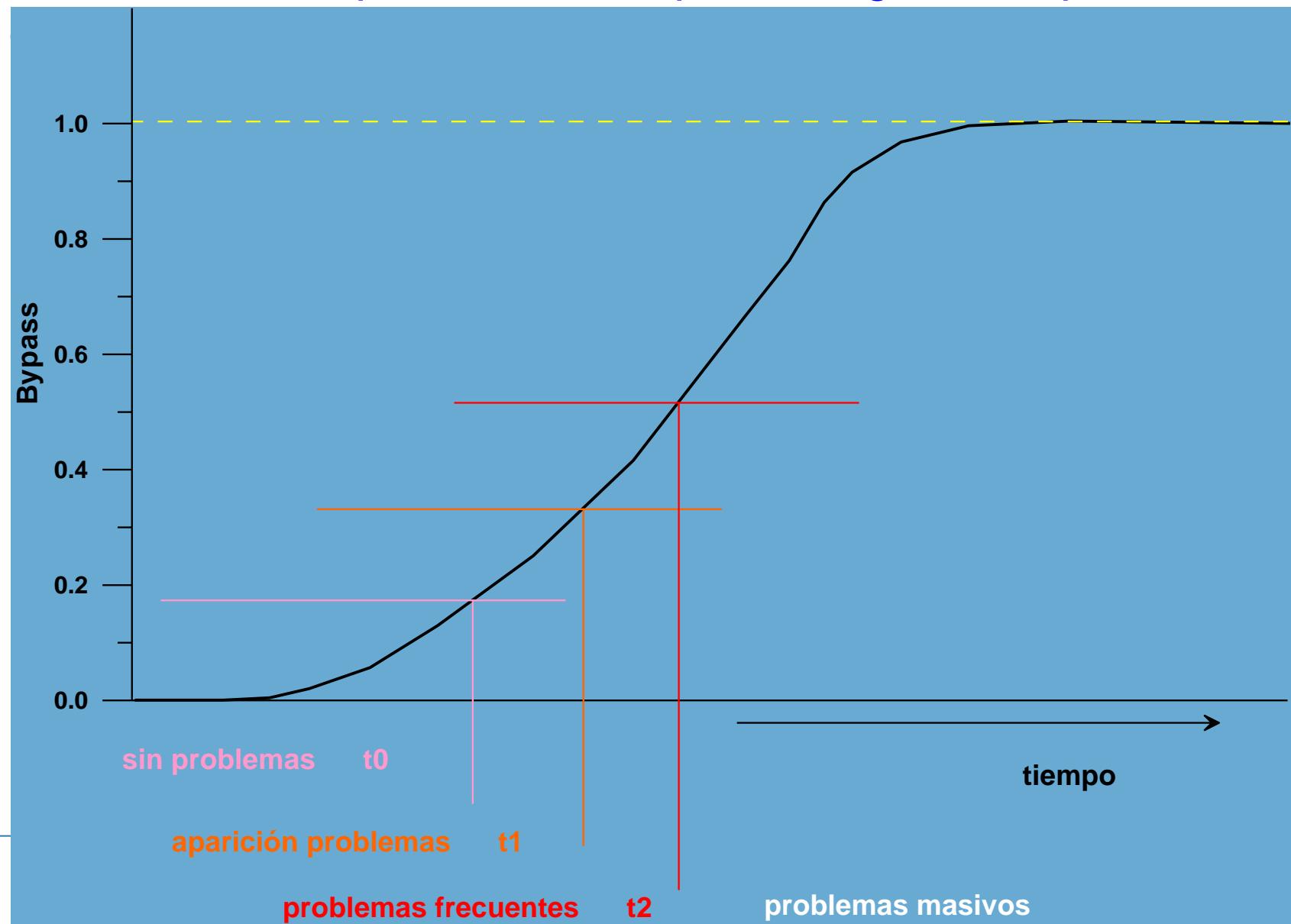
Determinación de la evolución de la costa aguas arriba del puerto (se requiere la utilización de un modelo de evolución costera).

Al ir cambiando la orientación de la línea de orilla aguas arriba del puerto no sólo se produce un desplazamiento de la zona de transporte sino también una variación en las tasas de transporte (**las tasas de transporte tienden a disminuir dado que el ángulo relativo entre el oleaje y la costa disminuye**).

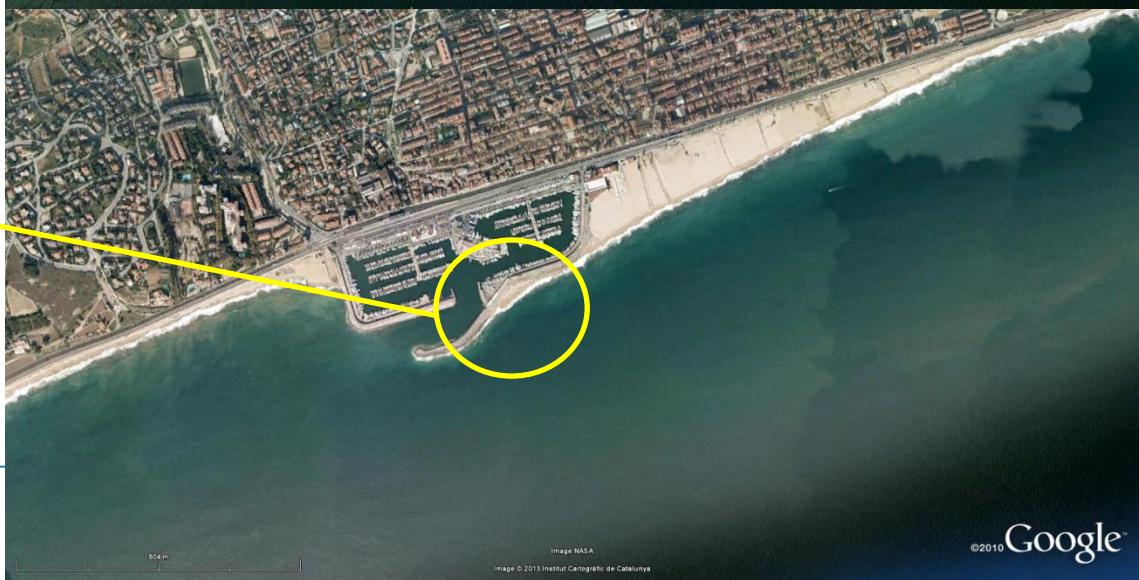
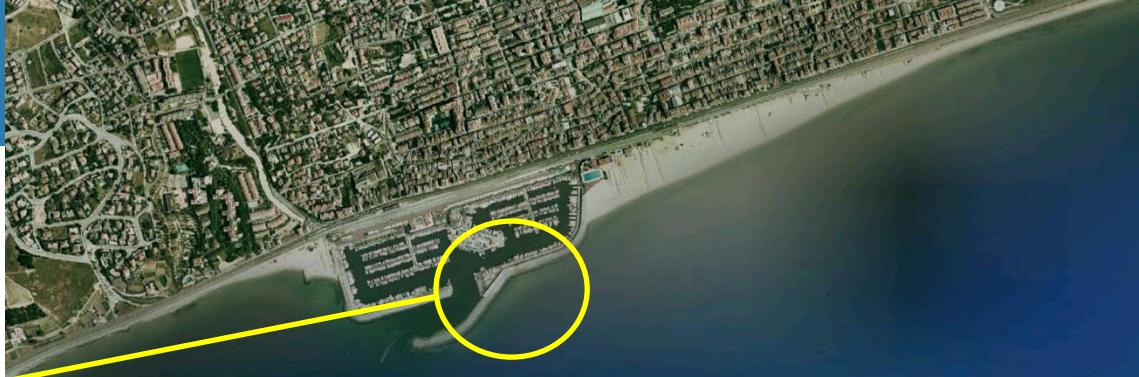
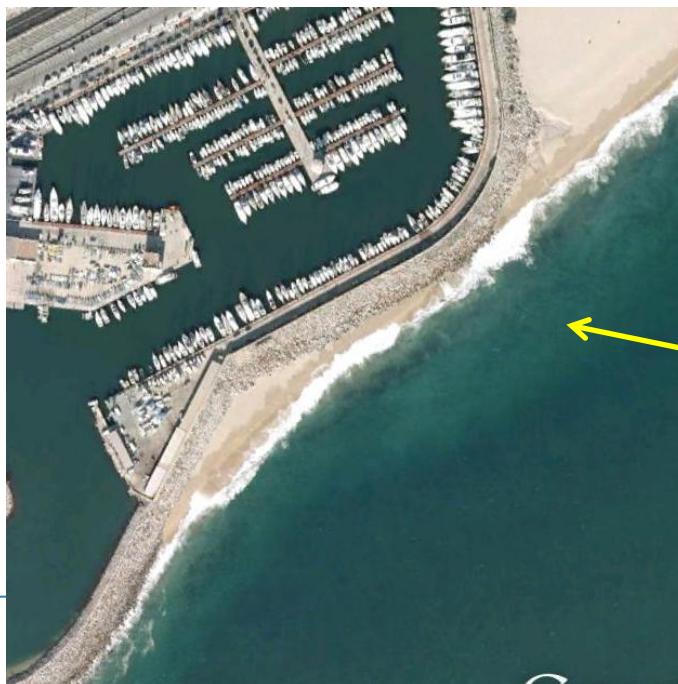
Variación de la posición de la línea de orilla en el dique de abrigo

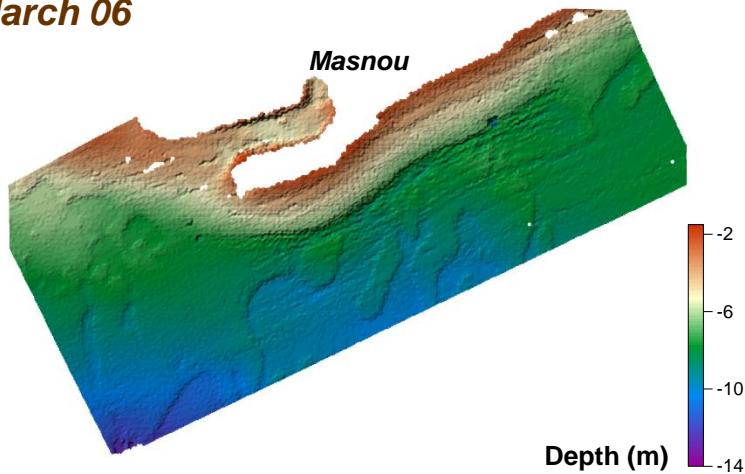
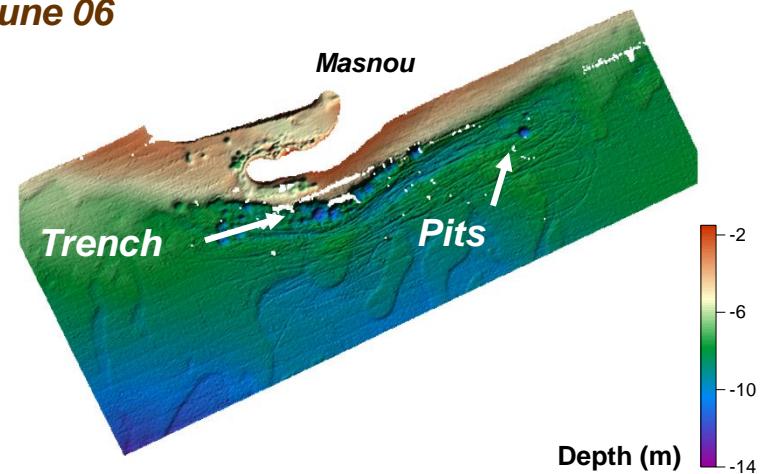


# Variación de la intercepción del transporte longitudinal por el dique

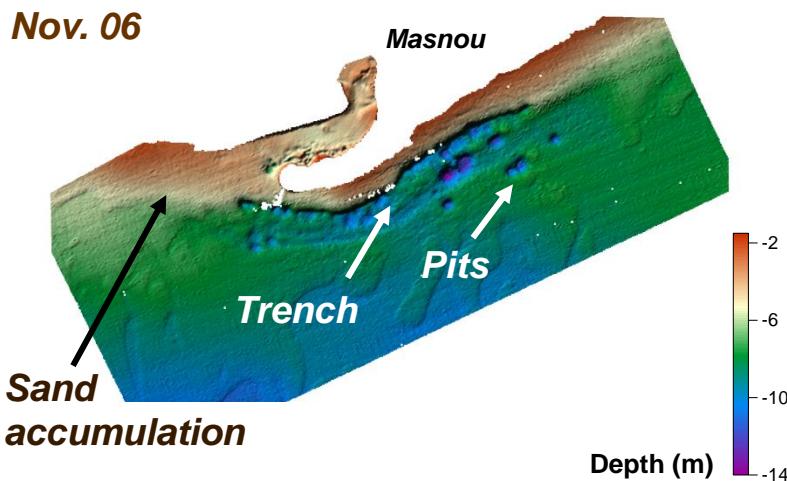
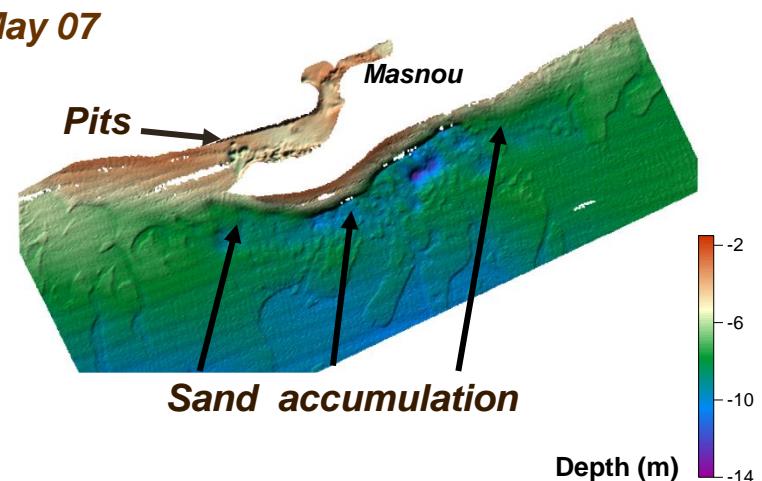


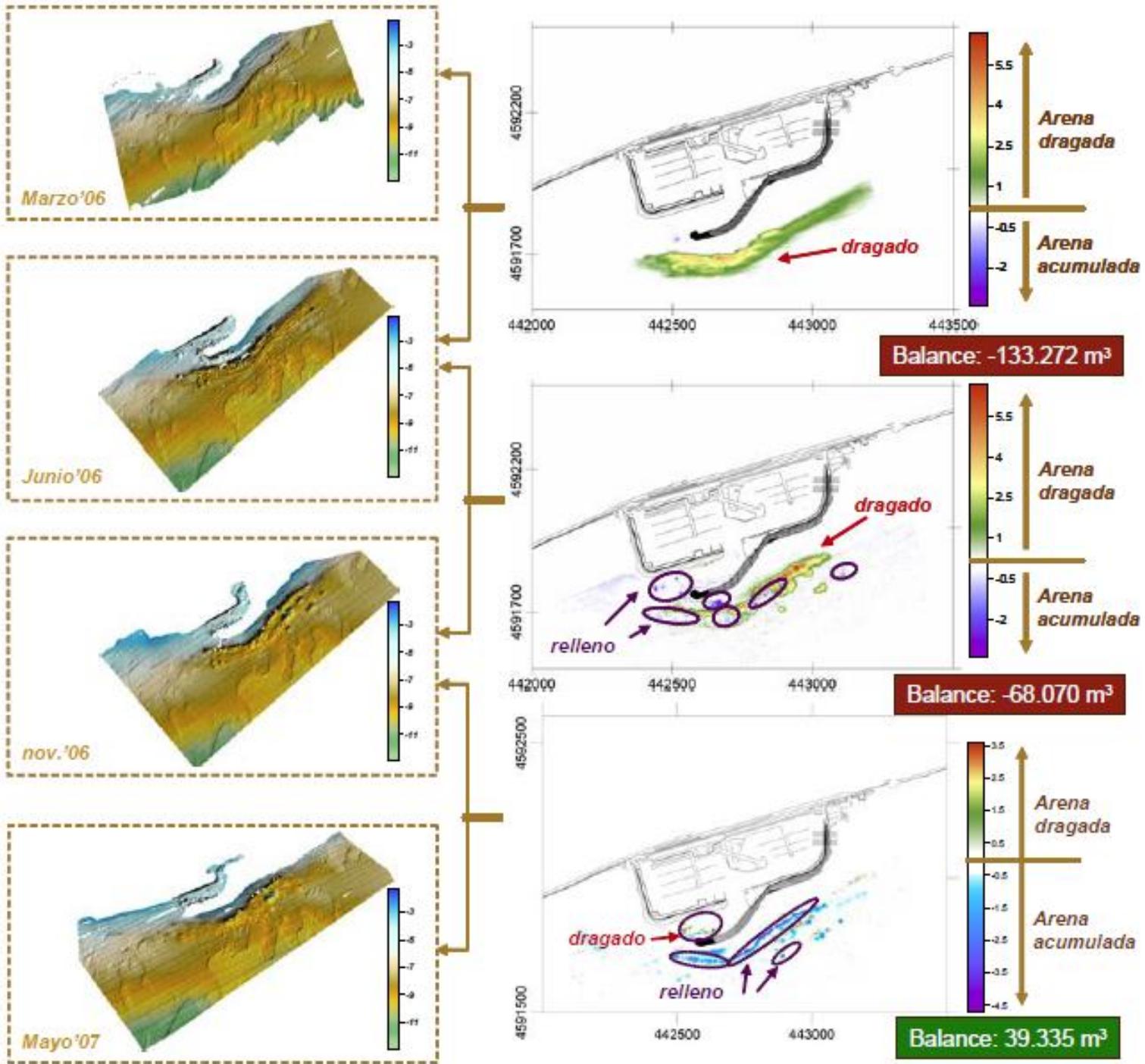
## INTERACCION PUERTO COSTA



Masnou port. Study area of 1.2 km<sup>2</sup>**March 06****June 06**

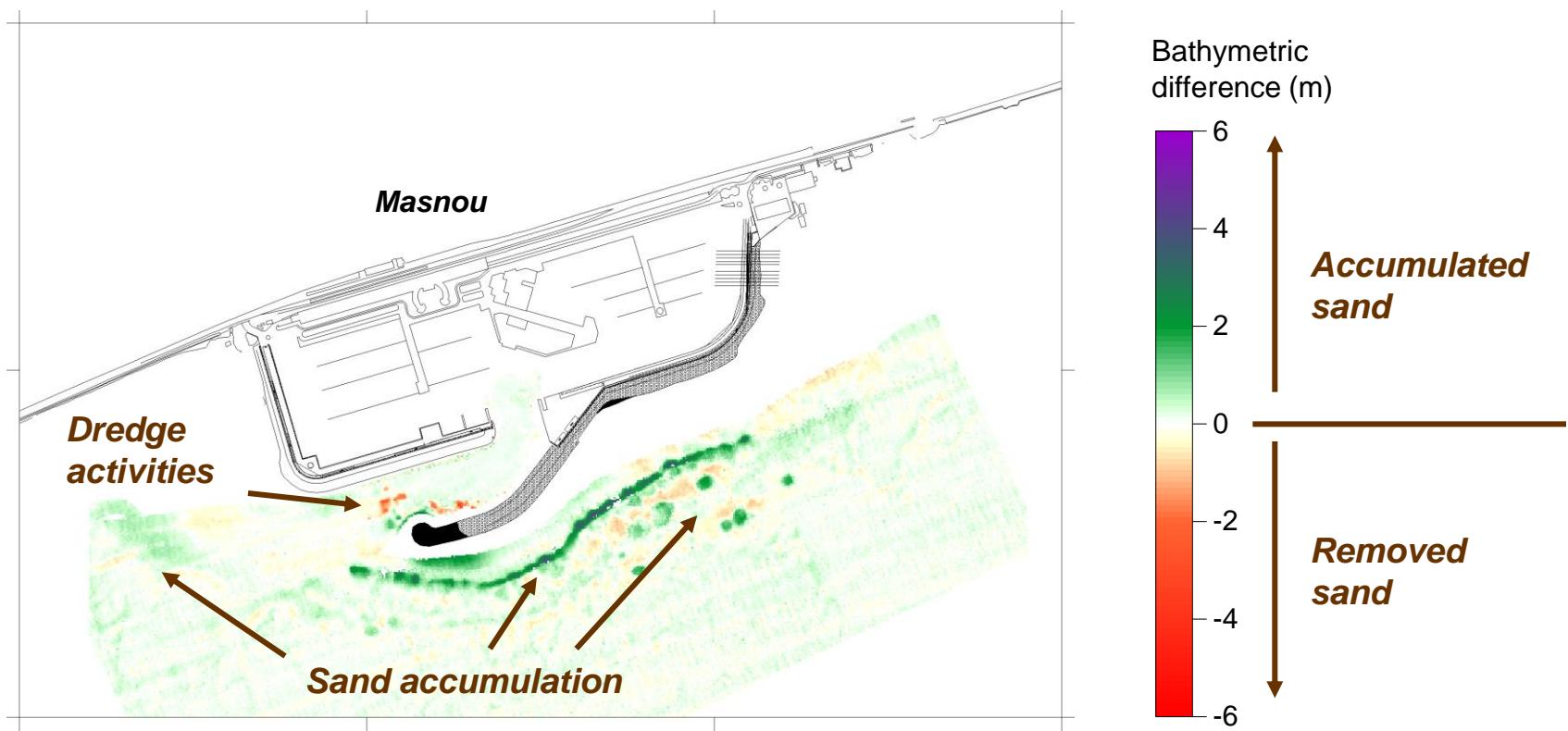
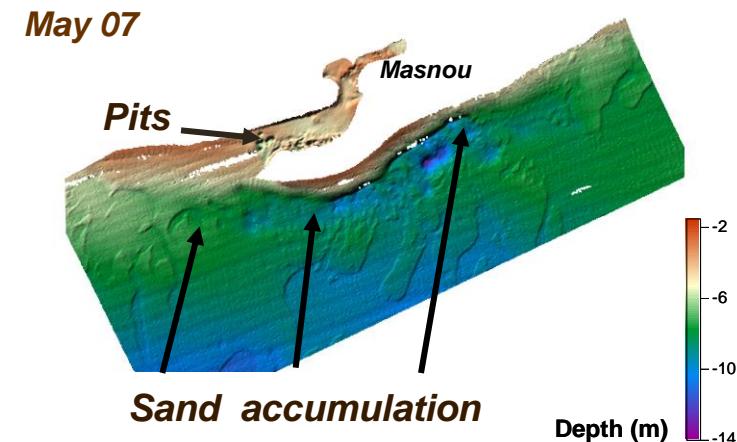
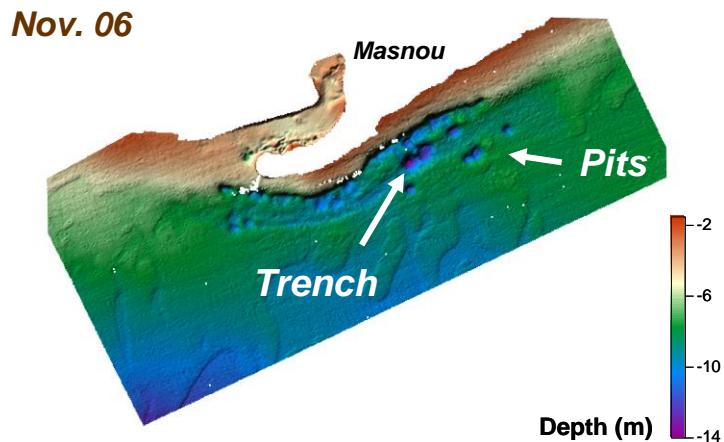
1A. Bathymetry at the begining of dredge activities

**Nov. 06**1C. Bathymetry 6 months after main dredge activities  
(87.923 m<sup>3</sup> of sand has been removed)**May 07**1D. Bathymetry 1 year after main dredge activities  
(18.000 m<sup>3</sup> of sand has been removed)



# Morphological evolution & sand accumulation volume NOV 06-MAY07

P1. ICM



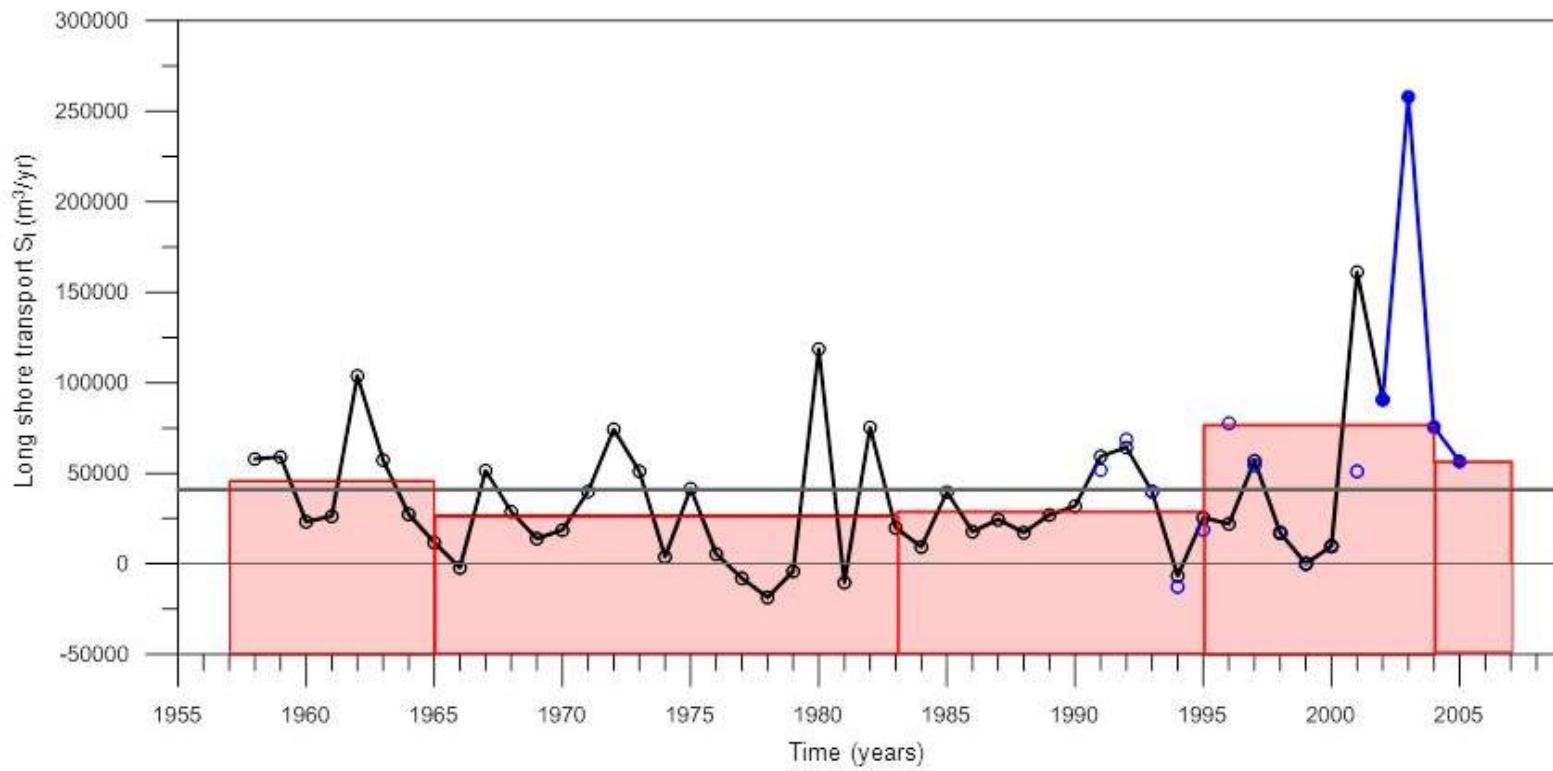
# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

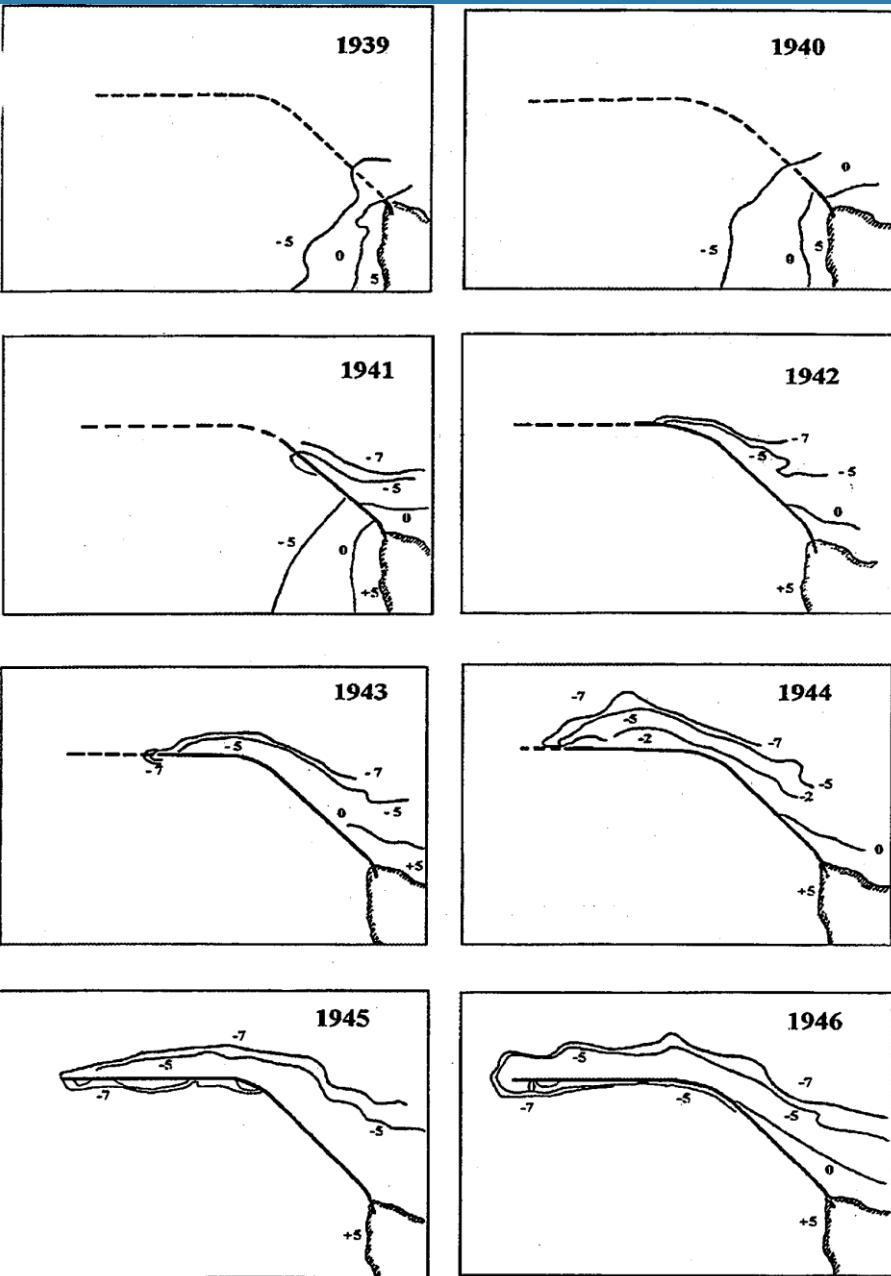
© José A. Jiménez



## Variabilidad climática – Transporte sedimentos con grandes fluctuaciones año a año

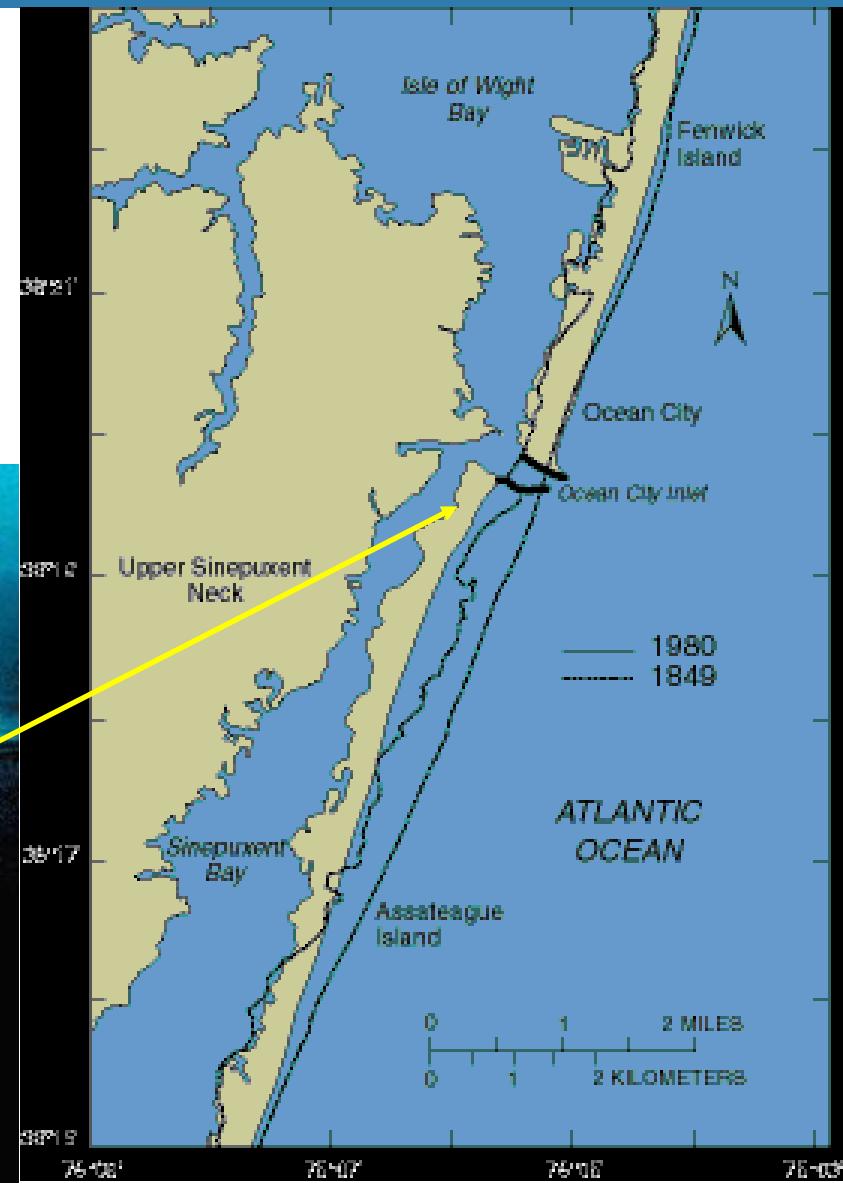


## Puerto de Mucuripe (Fortaleza, Brasil)



Bathymetric changes during the construction of the main breakwater of the Mucuripe harbor.

# El caso de puertos interiores El efecto de los jetties



## Segunda fase – aterramiento -

Se produce cuando el dique de abrigo no retiene la totalidad del transporte longitudinal aguas arriba.



## Segunda fase – aterramiento -

Proceso en varias fases.

Transporte de sedimento a lo largo del dique de abrigo.

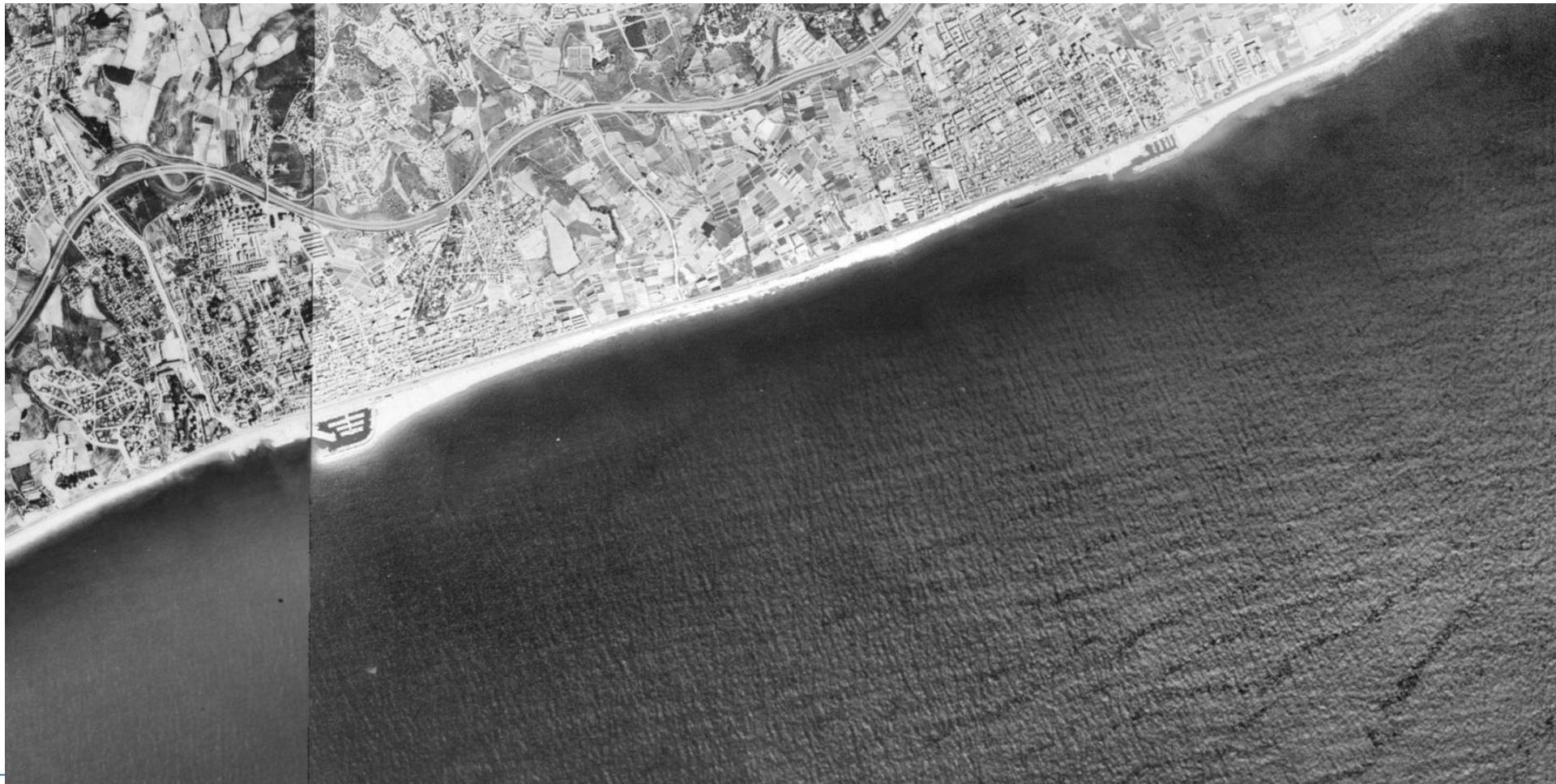
Depósito en las inmediaciones de la bocana en forma de flecha y bancos de arena sumergidos.

Acumulación continuada en la que va disminuyendo el calado en la bocana.

Depósitos pueden “emergir” debido a la acción de otros mecanismos (corrientes generadas por difracción, oleaje secundario) o por aceleración de los procesos de forma puntual (impacto de temporales).

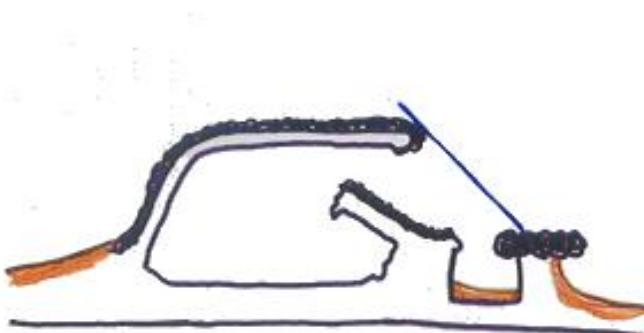
## Modulación de la magnitud del aterramiento

Puertos situados en la misma costa - Maresme



variable	Premiá	Masnou
dragado (m <sup>3</sup> /a)	40,000 Max 300,000 (89)	20,000
época/oleaje	invierno llevants	invierno llevants
secundario	si	no
bocana	35 m / SW 6 m 1.1 – 1.5 m	55 m / SW 6 m 3 m
problemas	impide entra/sal reducción 50% movilidad	dificulta entra/sal

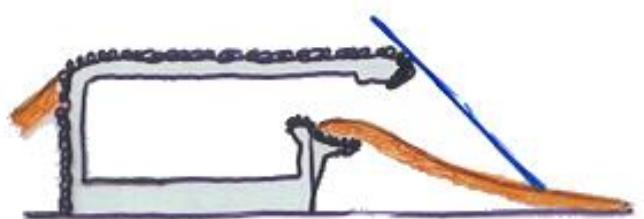
## Modulación de la magnitud del aterramiento Efectos locales aguas abajo- el papel de la difracción



Masnou

Configuración del contradique condicionante para Zona donde se verifican las corrientes asociadas a la difracción.

Obstáculo para que se deposite el sedimento transportado.

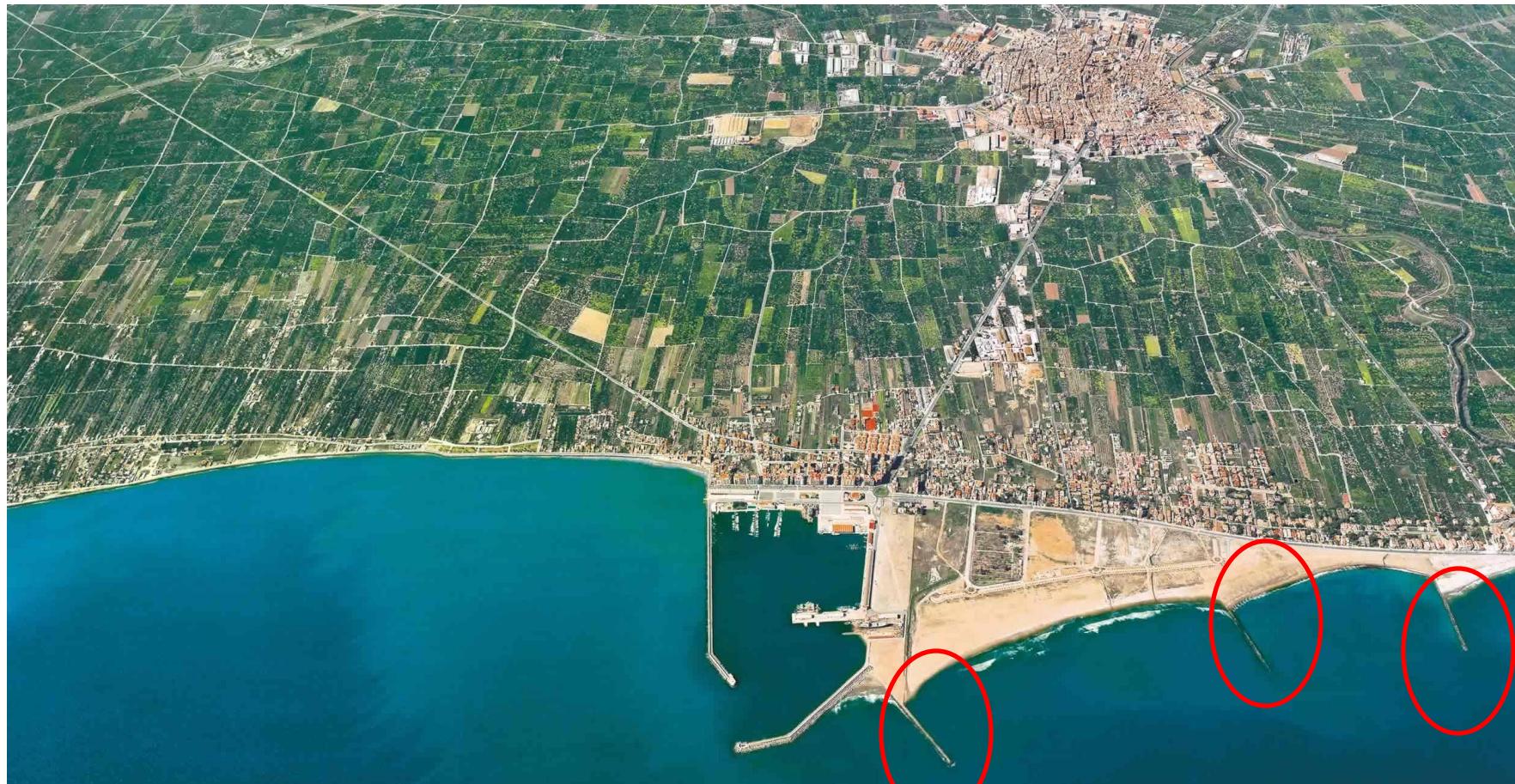


Premiá

Zona sobre la que actúa el oleaje secundario.

## Soluciones

Soluciones orientadas sectorialmente – normalmente cuando se aborda el problema portuario.



trampas de arena

## Soluciones

Soluciones orientadas sectorialmente – normalmente cuando se aborda el problema portuario

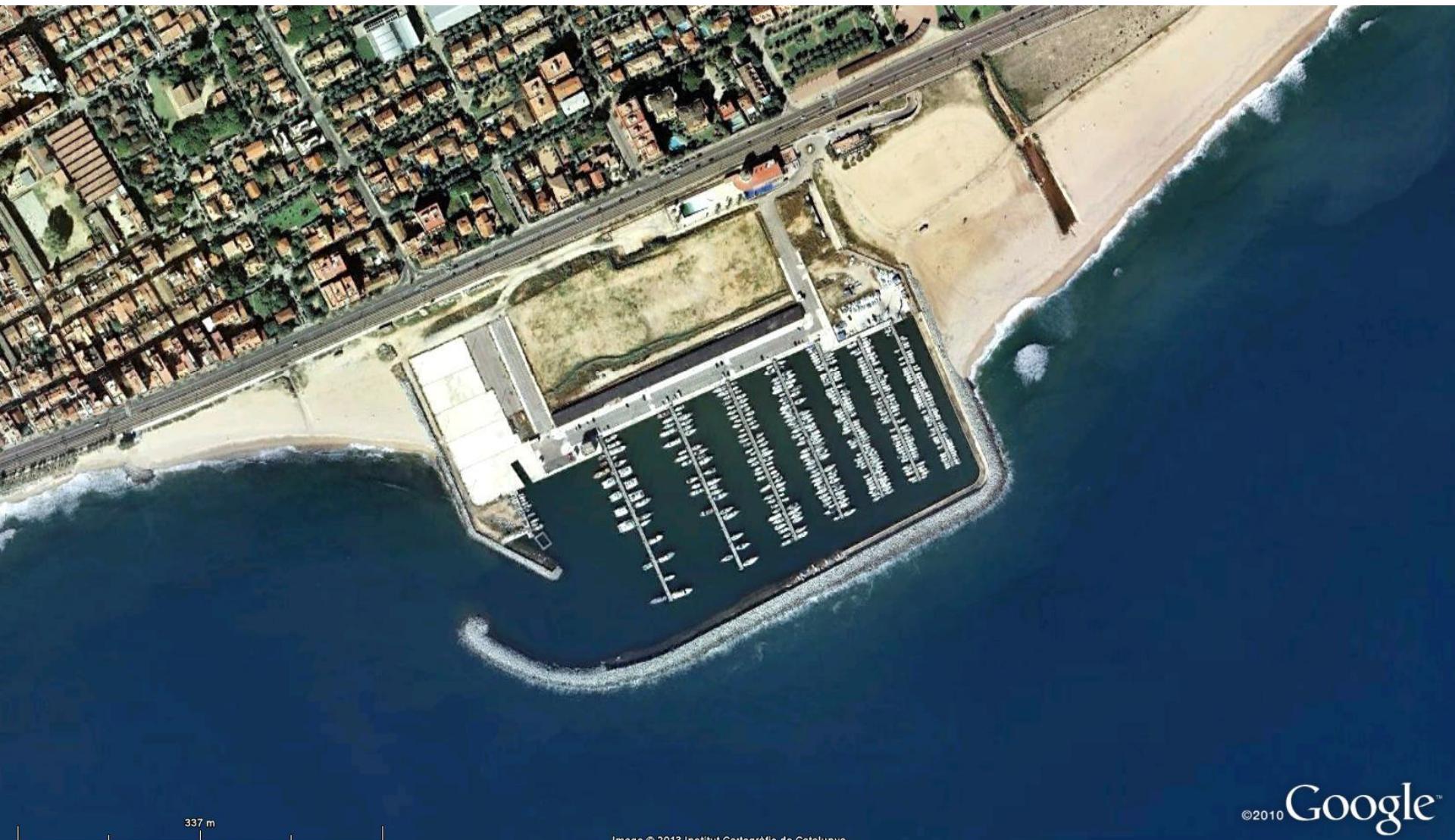


# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

© José A Jiménez







# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

© José A. Jiménez



# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

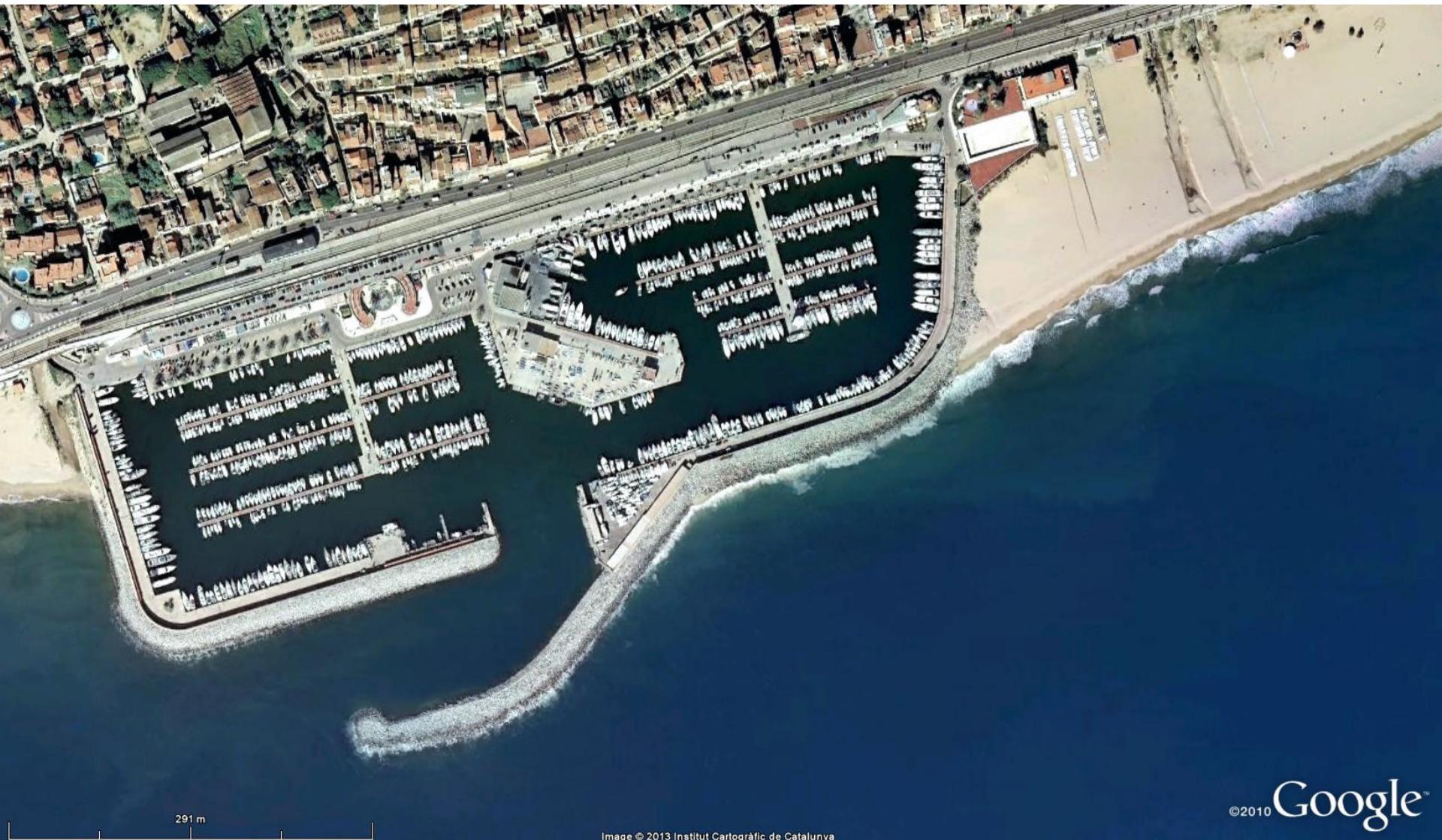
© José A. Jiménez



# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

© José A. Jiménez



©2010 Google™

Image © 2013 Institut Cartogràfic de Catalunya

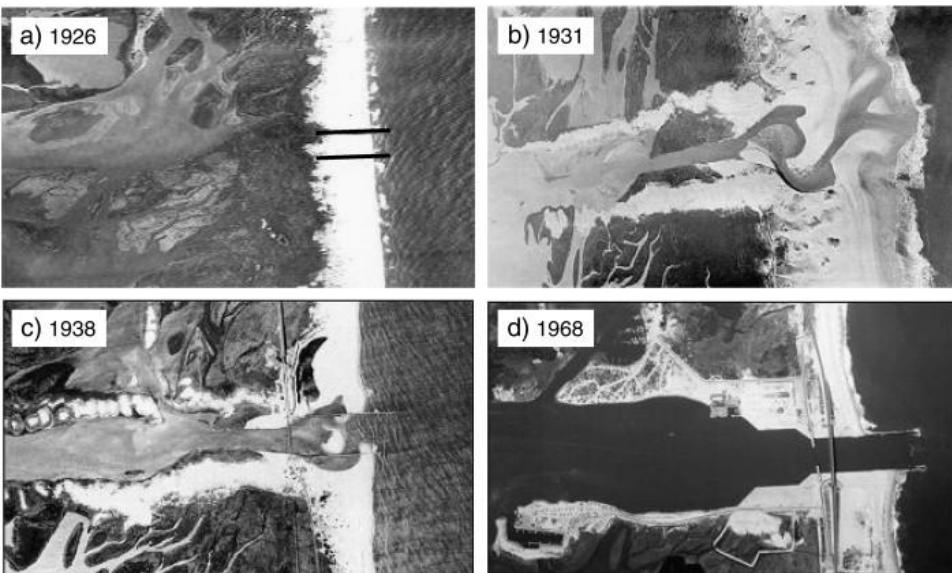
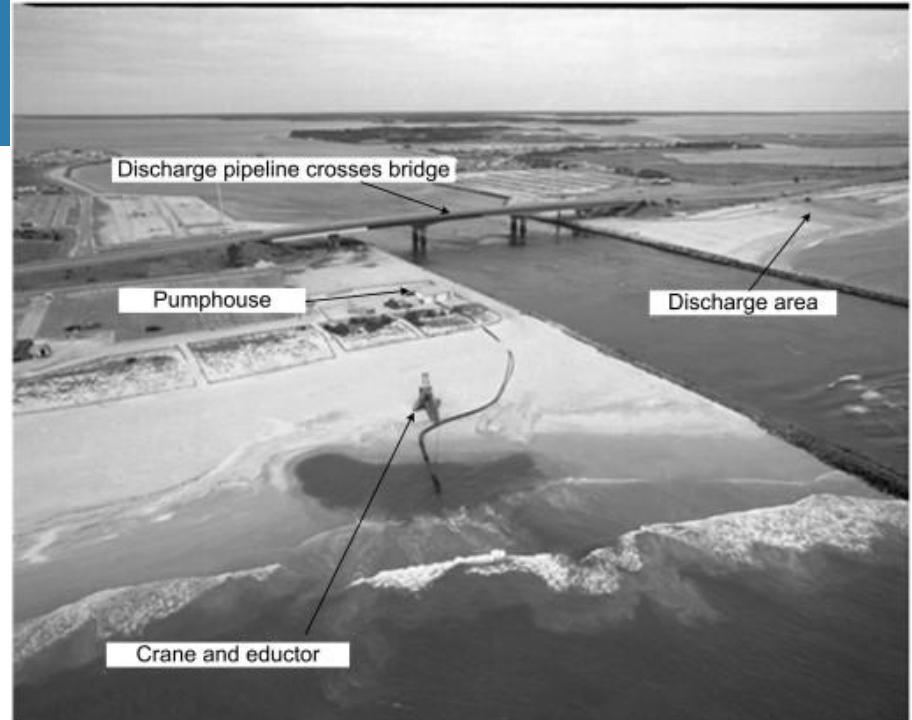
## Soluciones

Soluciones orientadas globalmente – normalmente cuando se aborda el problema desde el punto de vista del gestor.

by-pass de sedimento



Picture showing the crane-mounted eductor and the discharge pipe extending across the updrift beach, over the bridge and onto the downdrift beach discharge area. North is towards the right side of the picture. The downdrift shoreline offset from south to north is evident.



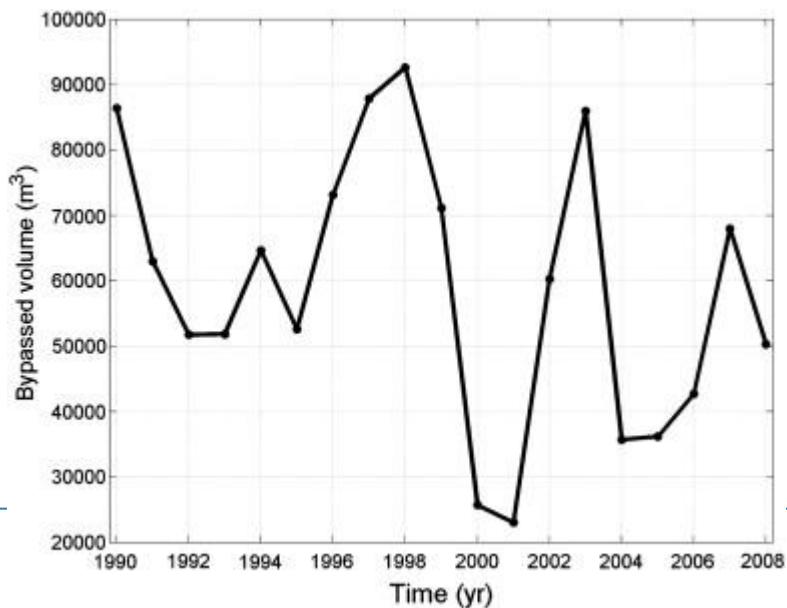
Early history of Indian River Inlet and adjacent shoreline evolution. Black bold lines in (a) indicate approximate location of present inlet location.

Mohammad Keshtpoor , Jack A. Puleo , Jeffrey Gebert , Nathaniel G. Plant

### **Beach response to a fixed sand bypassing system**

Coastal Engineering Volume 73 2013 28 - 42

<http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.09.006>



## Jet Pump at Indian River, DL



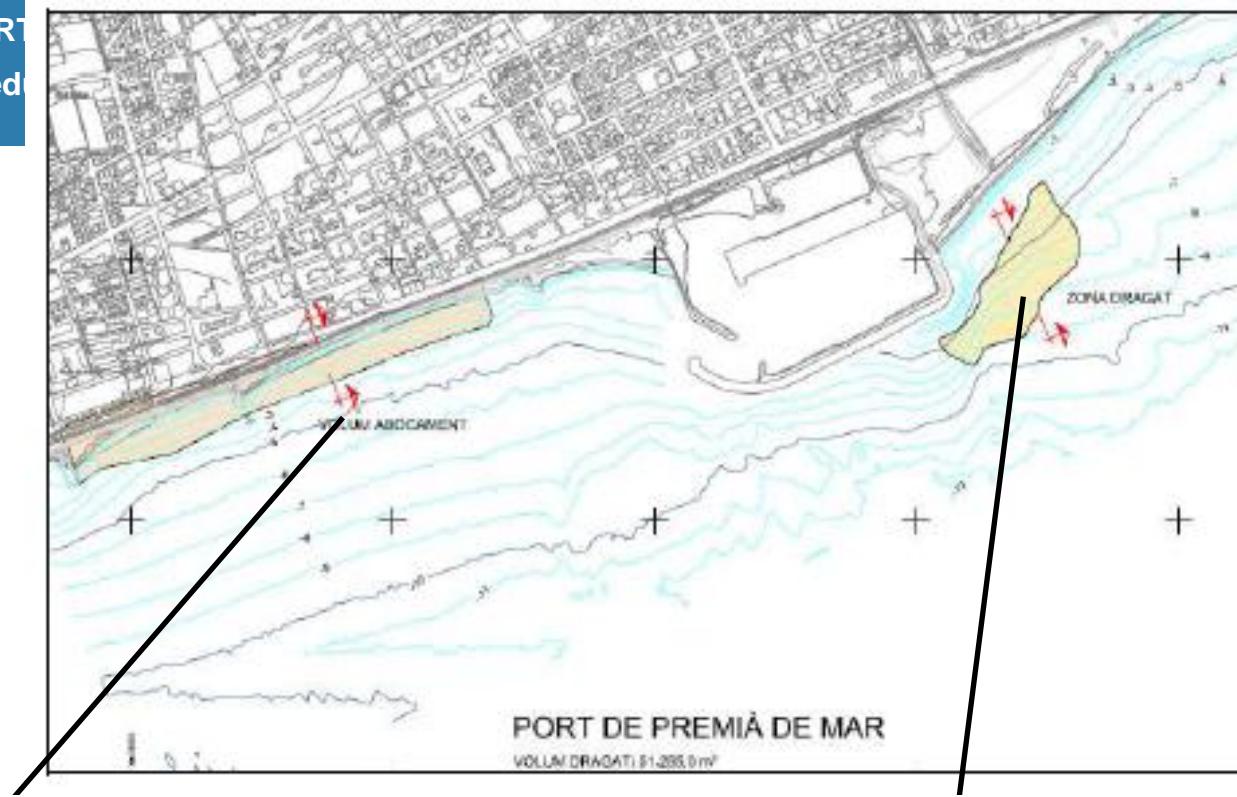
~ 75,000 m<sup>3</sup>/year



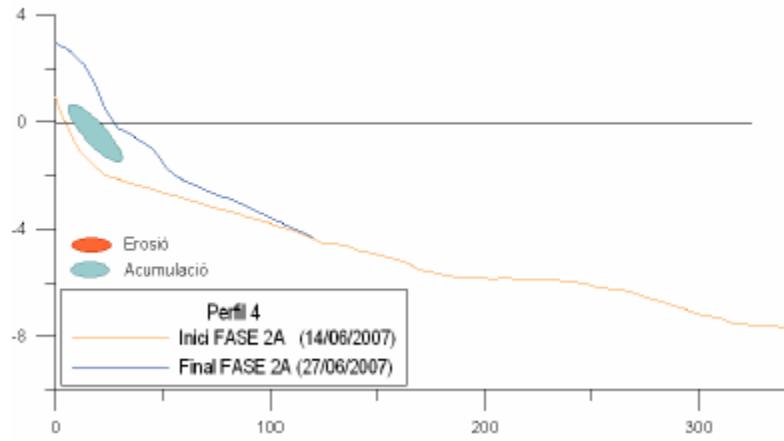
# Soluciones

Puerto	Fecha O.M.	Condición de trasvase de arenas
Masnou	27/03/1991	Playa al norte del puerto no alcance más de 100 metros de ancho
Premia	17/01/1991	Playa al norte del puerto no alcance más de 135 metros de ancho
Mataró	10/03/1988	Playa al norte del puerto: anchura mínima de 40 metros y máxima de 60 metros Playa al sur del puerto: anchura mínima de 40 metros
Balís	09/03/1990	Playa al norte del puerto no alcance más de 60 metros de ancho
Badalona	27/06/2001	Playa a levante del puerto no supere 125 metros

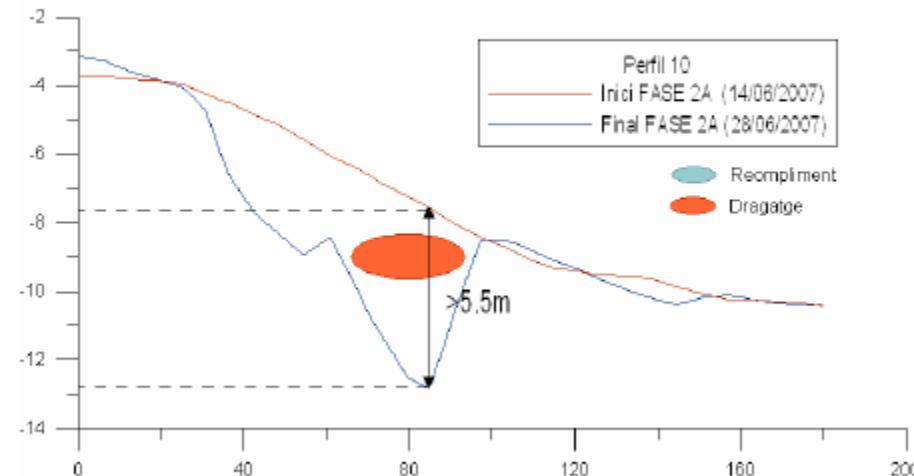
Límites establecidos por las concesiones a los puertos del Maresme.



Perfil 4. Inici - Final FASE 2A

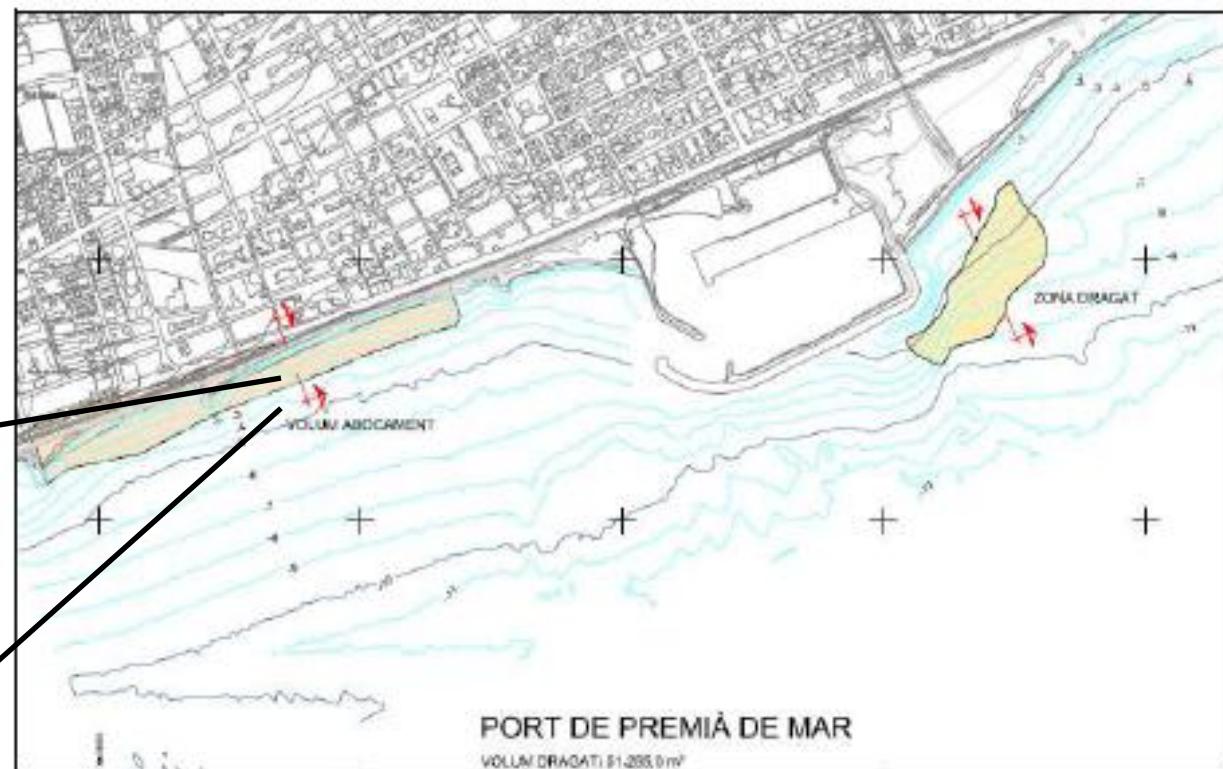


Perfil 10. Inici FASE 2A - Final FASE 2A





antes



Obra executada. Dragatge dels ports de Catalunya. Zones d'extracció i d'abocament en l'entorn del port de Premià de Mar per a la Fase 2<sup>a</sup> (2007)

después



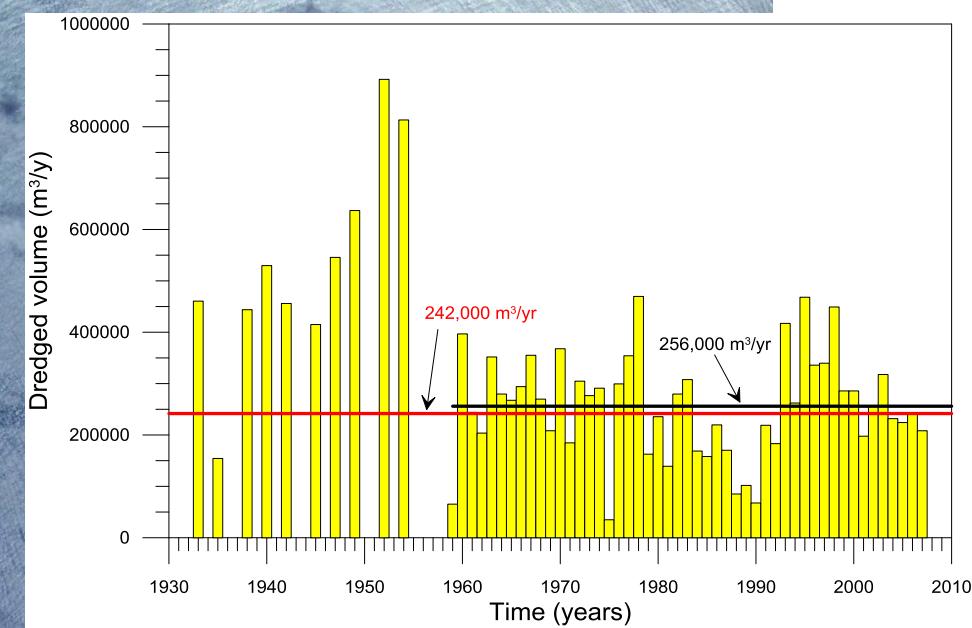
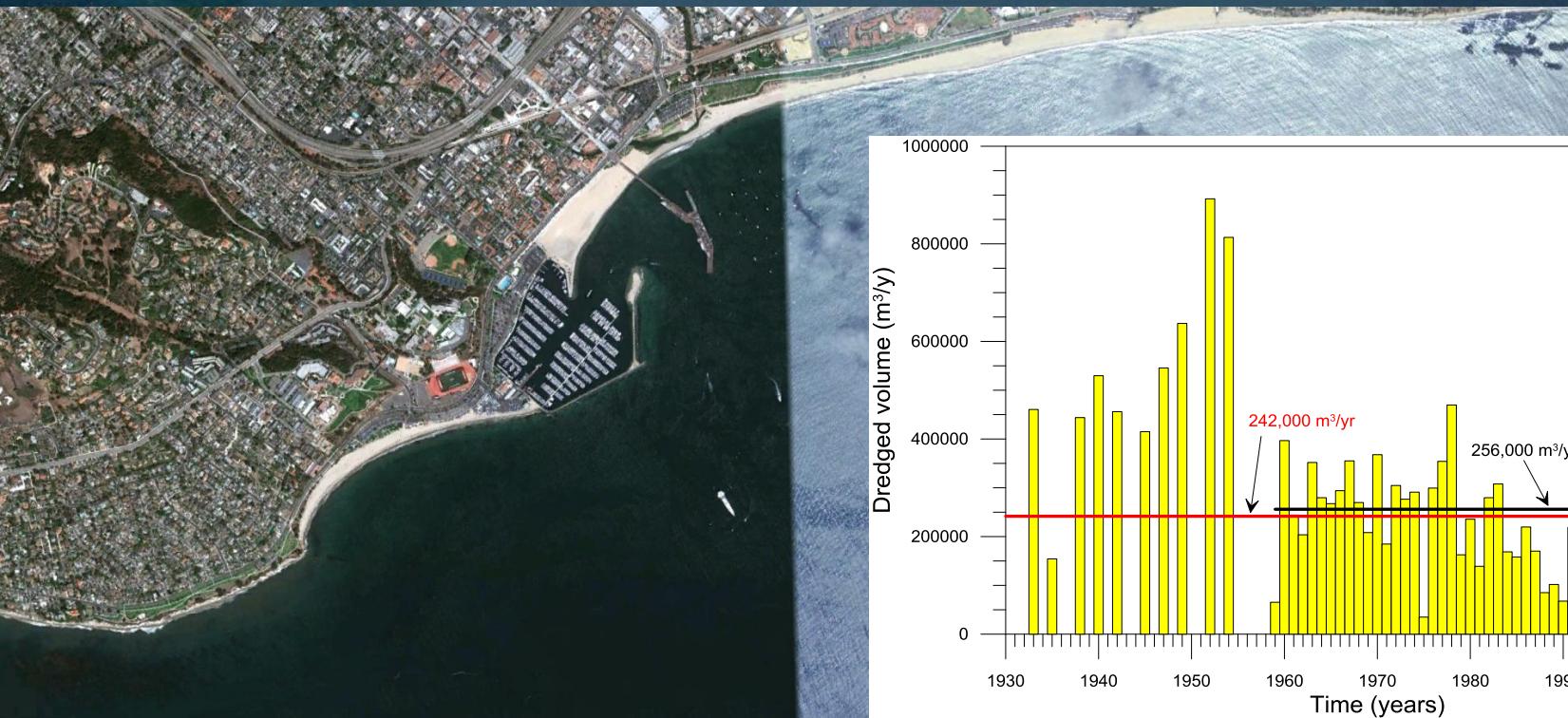
García Rodríguez, V. (2008) Análisis del funcionamiento de las obras relacionadas con la gestión del sedimento en los puertos y playas del Maresme. Tesis ETSECCPB

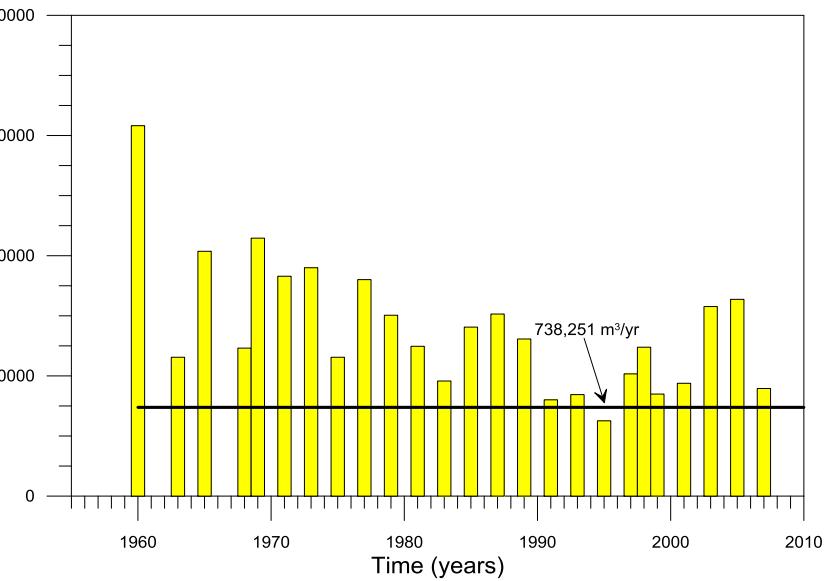
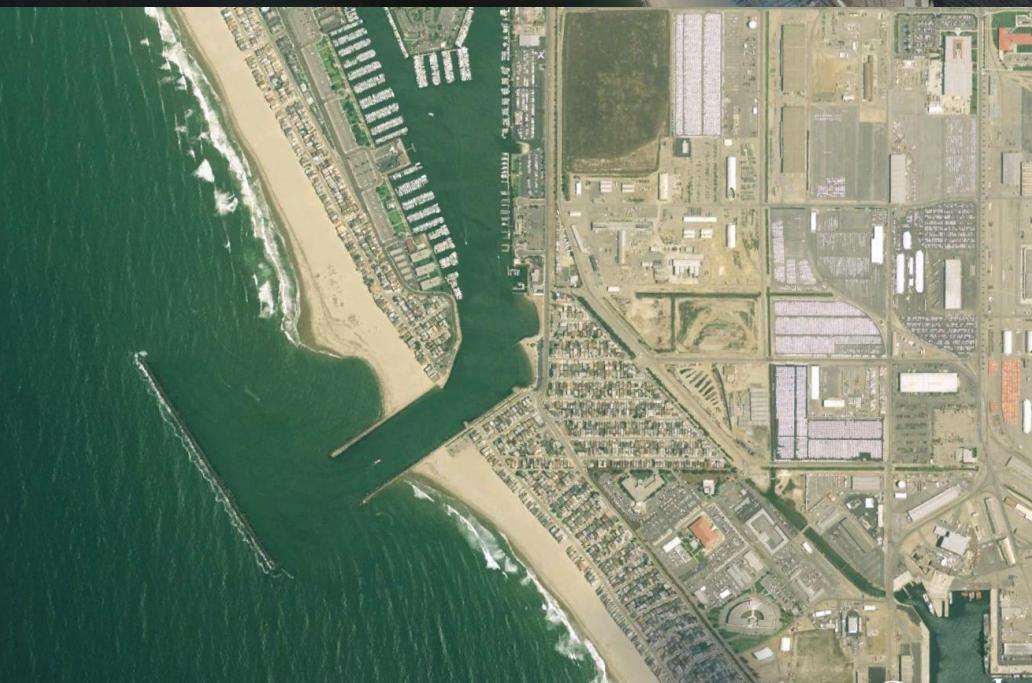
Nom Port	Data	Volum	Zona de dragat	Zona d'abocament
TORREDEMBARRA	14/05/07	4.634 m <sup>3</sup>	Platges de Torredembarra i de la Paella	Platja de Baixa Mar
	01/06/07	25.366 m <sup>3</sup>	Platges de Torredembarra i de la Paella	Platja de Baixa Mar
MASNOU	11/06/07	35.654 m <sup>3</sup>	Dic de recer i bocana	Platges de El Masnou i Alella
	15/06/07	75.494 m <sup>3</sup>	Dic de recer i bocana	Platges de El Masnou i Alella
PREMIÀ DE MAR	23/06/07	51.255 m <sup>3</sup>	Platja de Llevant	Platges del Pla de l'Ós
ARENYS DE MAR	27/06/07	53.556 m <sup>3</sup>	Dic de recer i bocana	Platja de la Picòrdia

Llistat d'actuacions realitzades dintre de la FASE 2A del Servei de Dragatges de Catalunya



Santa Barbara Harbor (CA, USA)





**Channel Islands Harbor (CA, USA)**

## Santa Barbara Littoral Cell Budget Average Annual Volume (x 1000 cu yards per year)

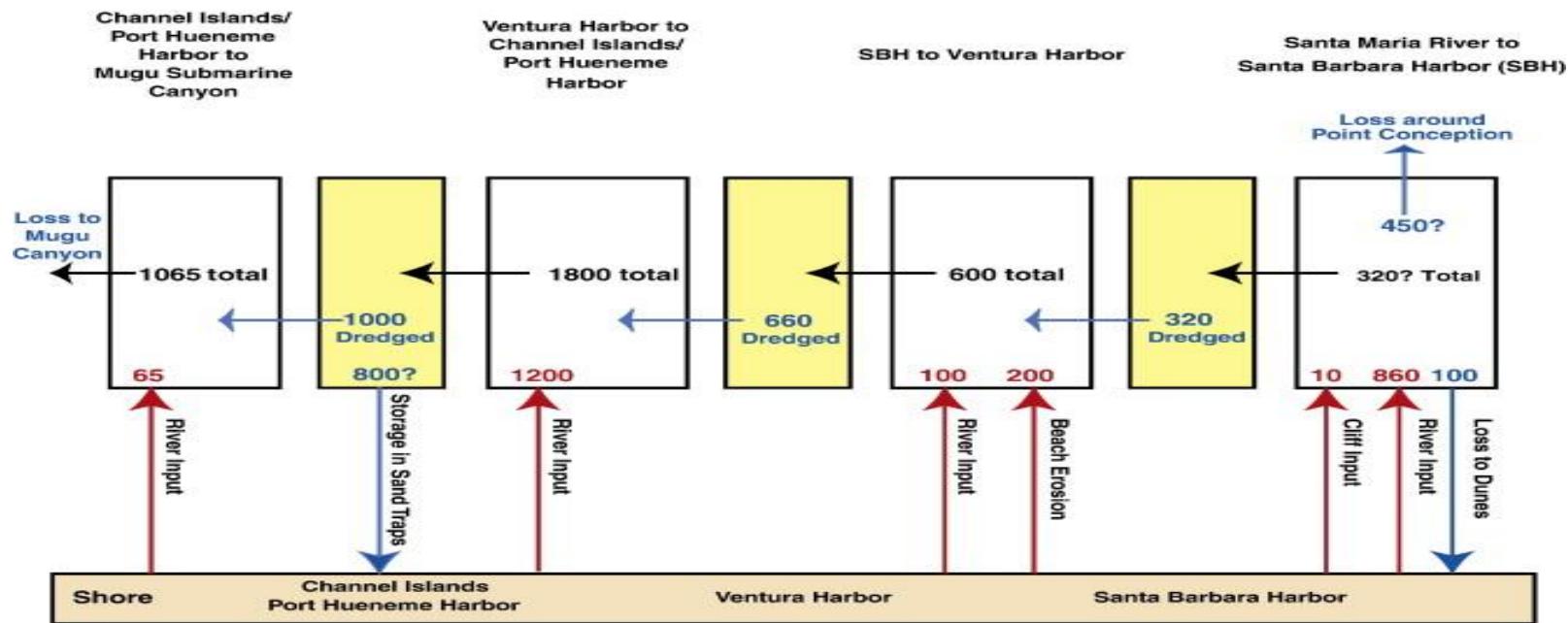


Fig. 5 Sand budgets for the Santa Barbara Littoral Cell.

Kiki Patsch , Gary Griggs

**A sand budget for the Santa Barbara Littoral Cell, California**

Marine Geology Volume 252, Issues 1?2 2008 50 - 61

<http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2008.01.013>

# Puertos y Bahías o Playas Encajadas

## El efecto de la difracción



# Playas aguas de un puerto

## Playa de la Pineda y Puerto de Tarragona



1 km



# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

© José A. Jiménez



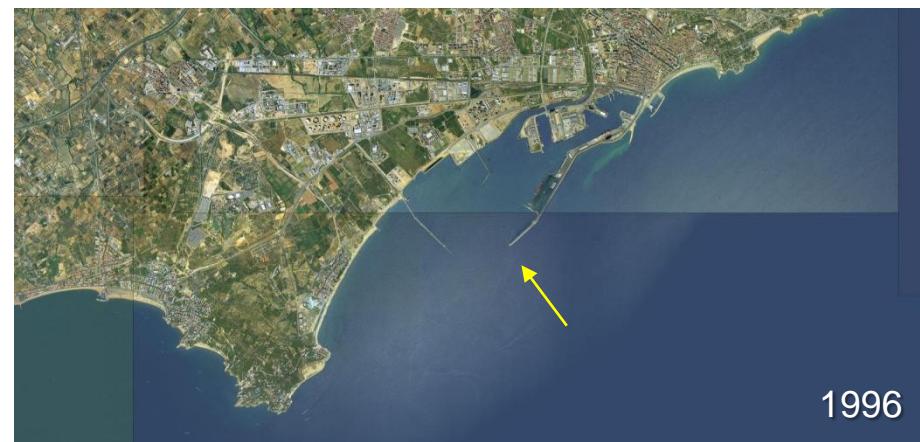
1956



1956



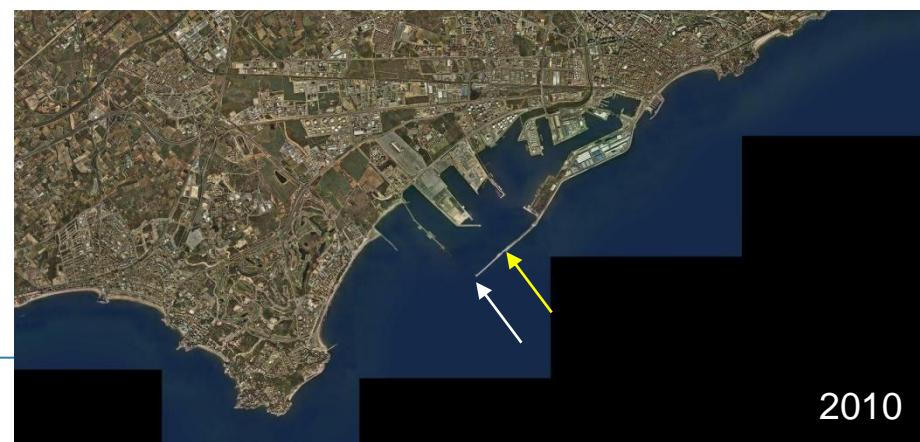
1996



1996



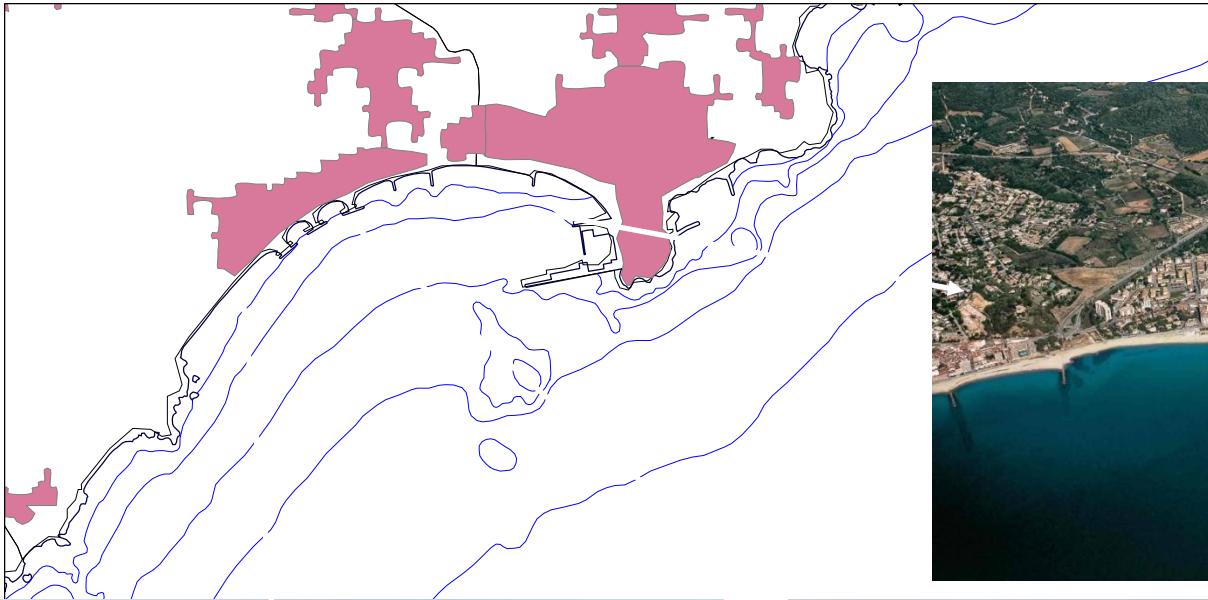
2010



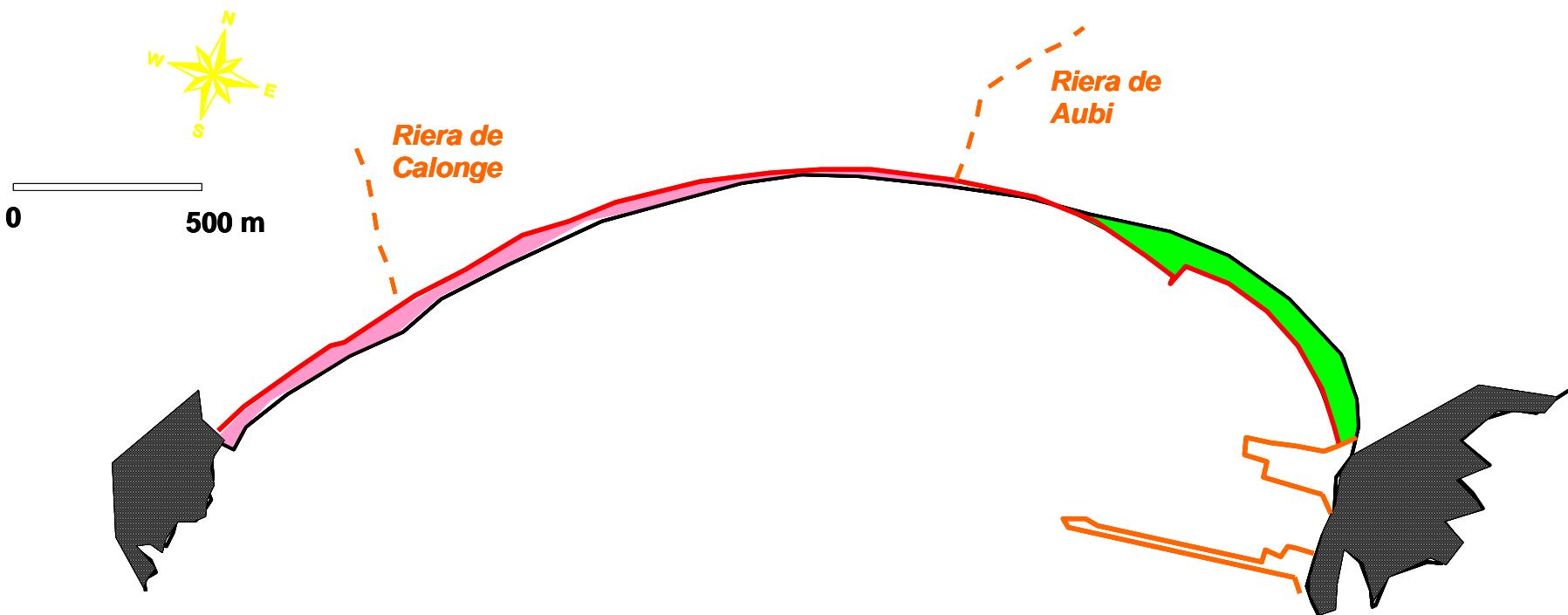
2010

## Puertos en un extremo de una Bahía

Palamós

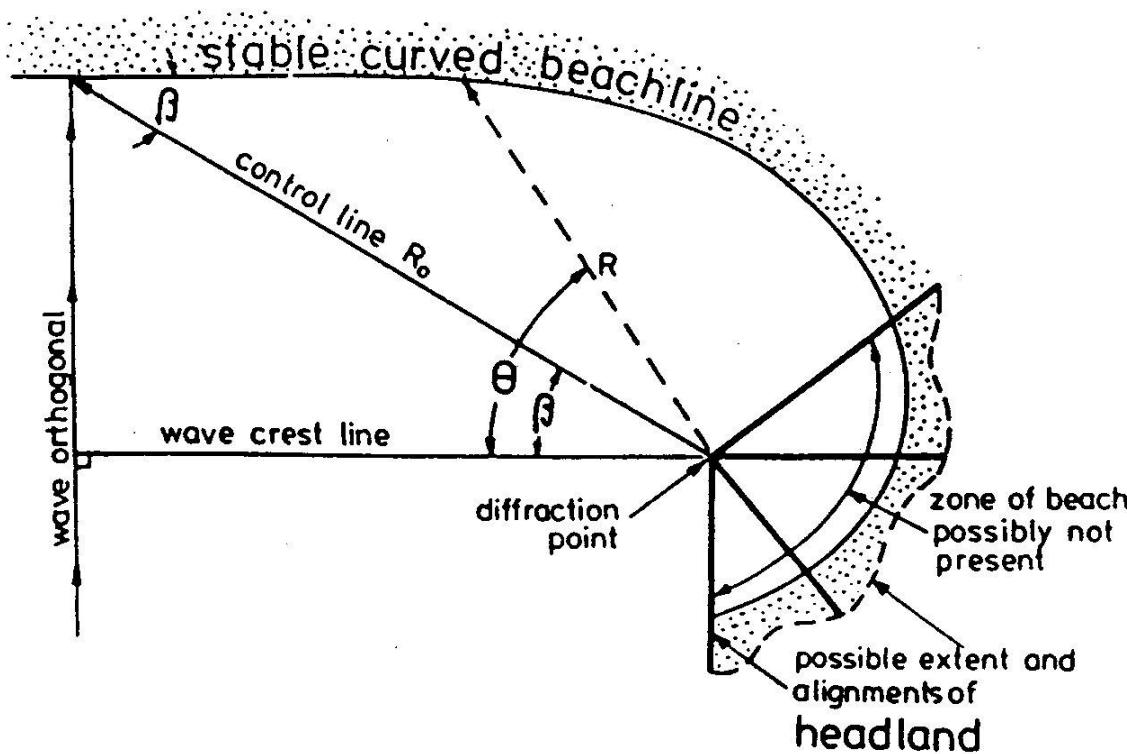


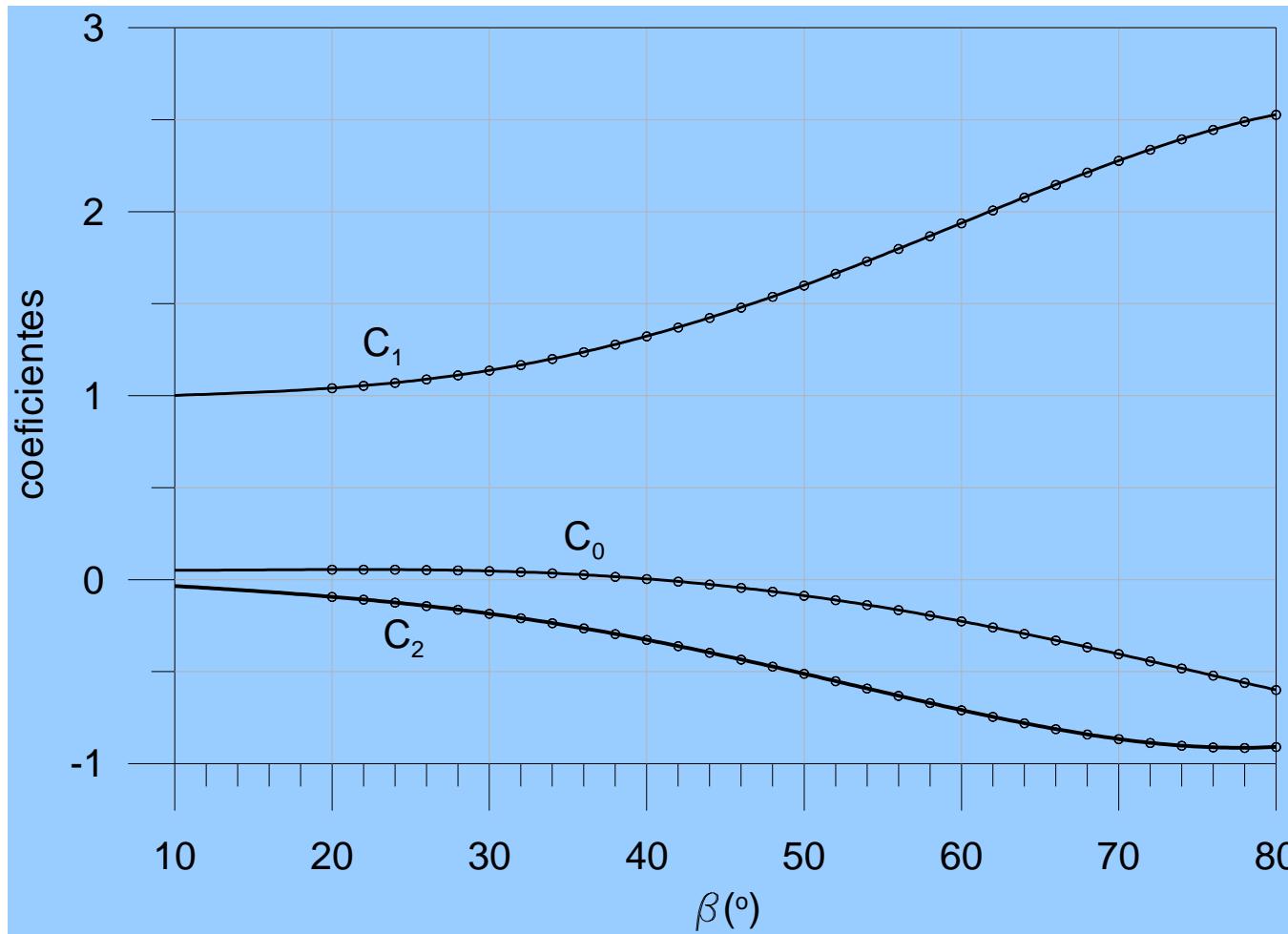
# Alteración de la distribución del volumen de sedimento por modificación del régimen de basculamientos



## Playa parabólica

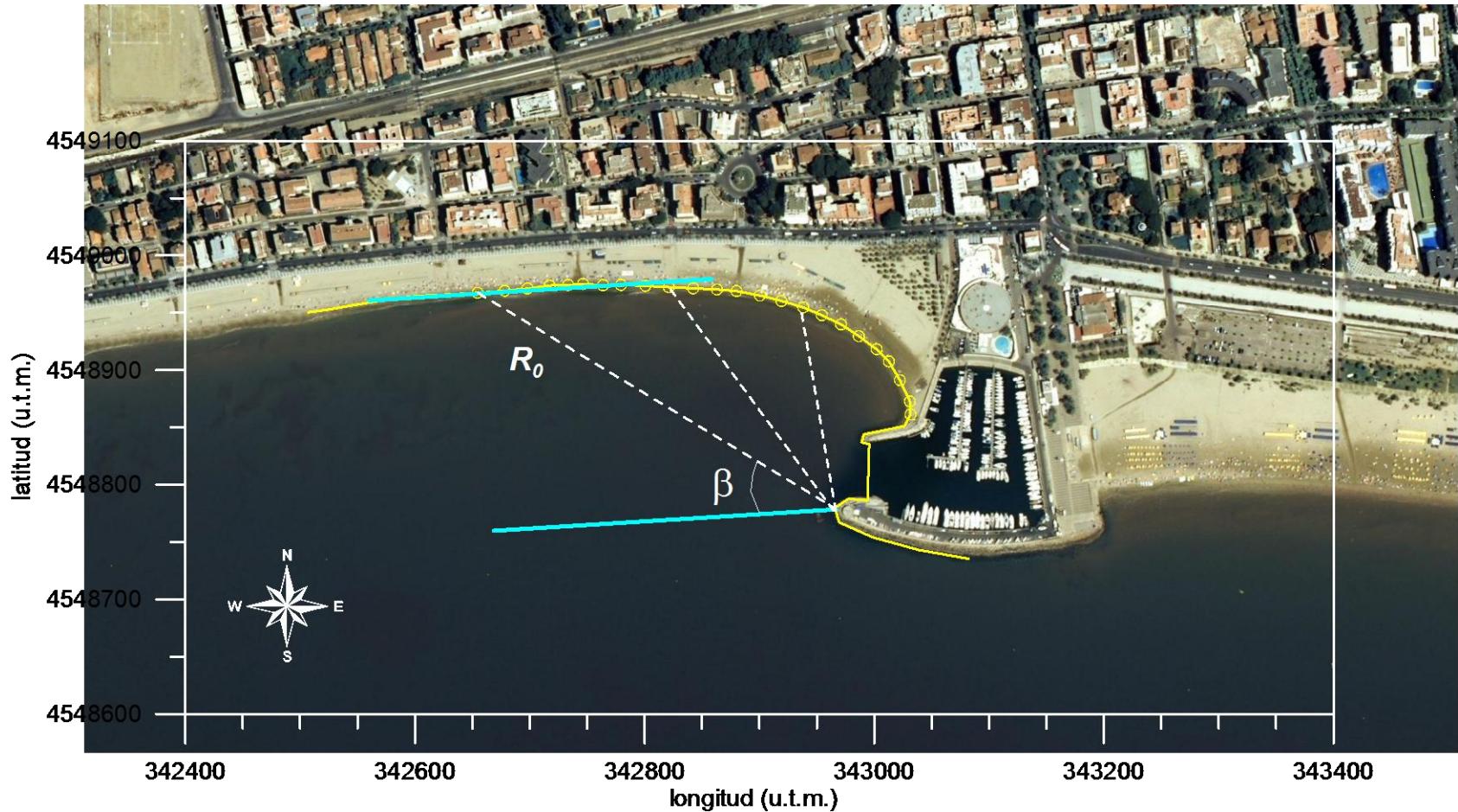
$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \cdot \frac{\beta}{\theta} + C_2 \cdot \left( \frac{\beta}{\theta} \right)^2$$



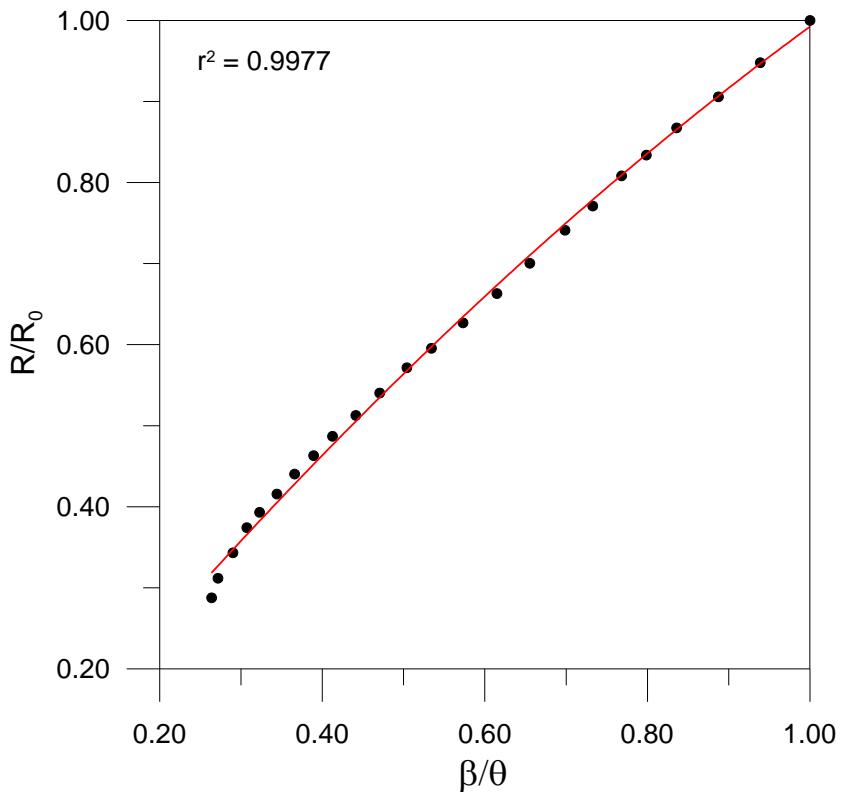


# Planta de equilibrio en las condiciones actuales

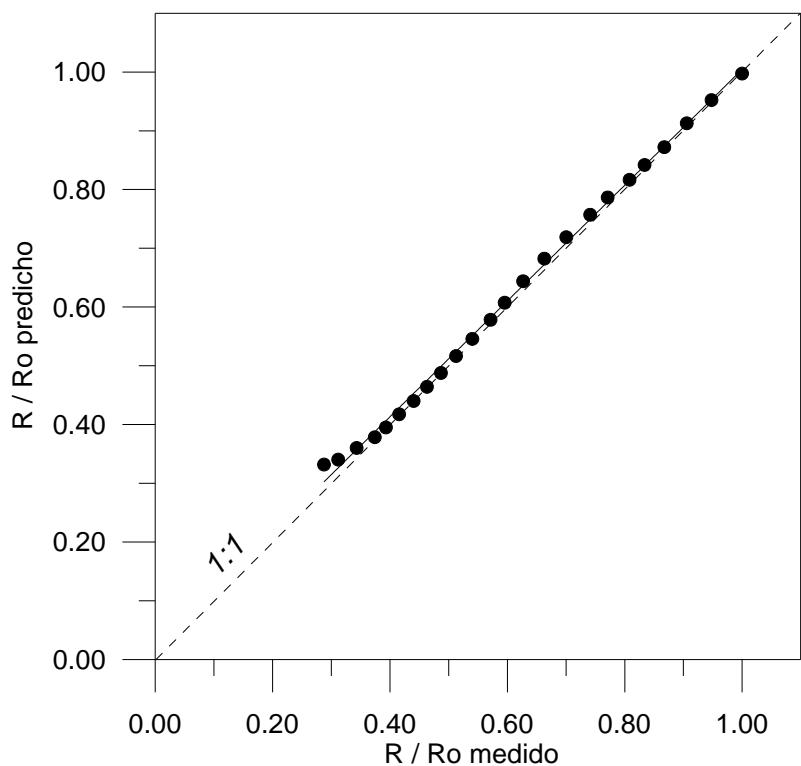
Port de Salou



## Ajuste a una playa parabólica



## Verificación de los coeficientes

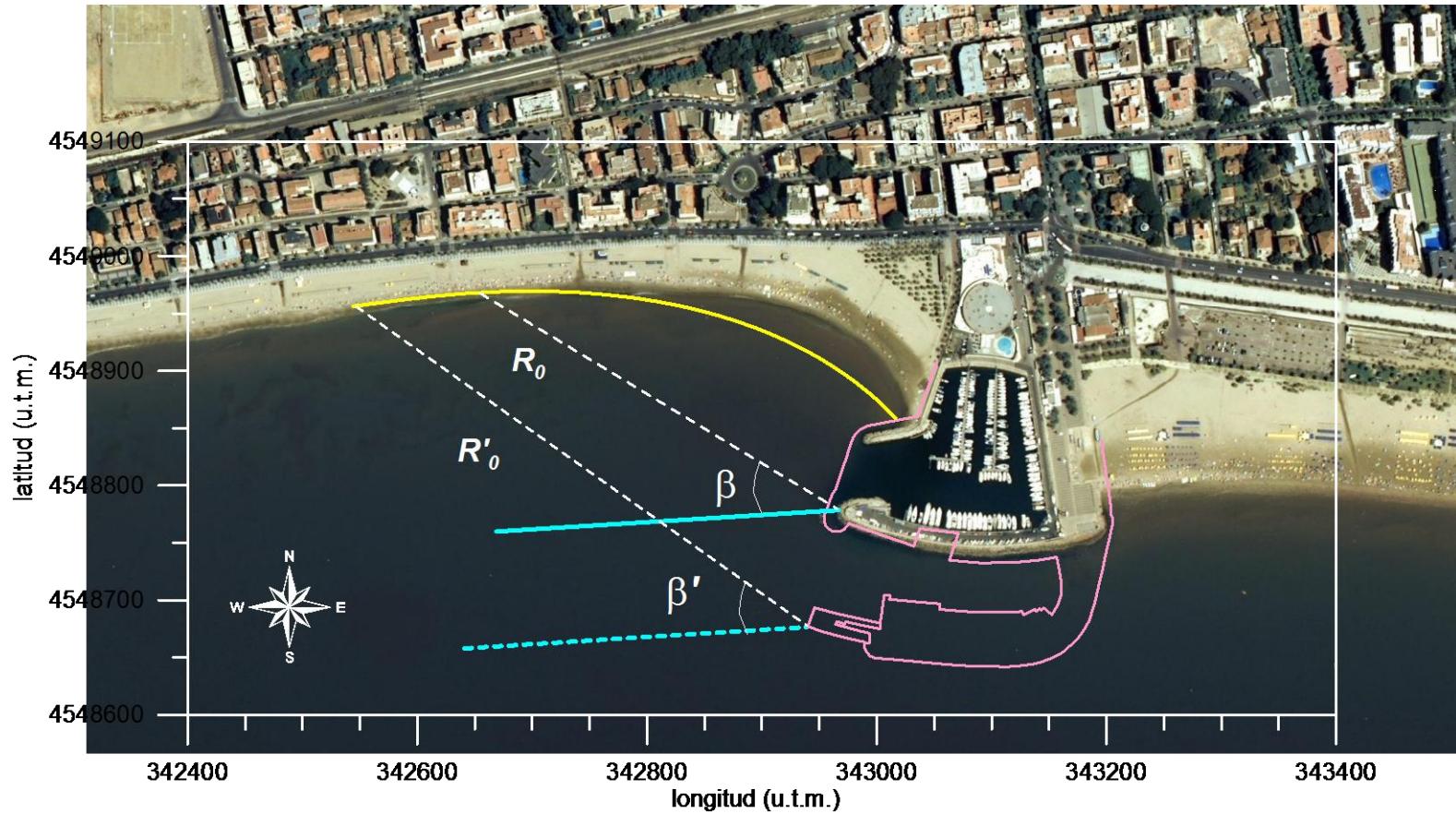


$$R/R_0 \text{ pre} = 0.985 * R/R_0 \text{ med} + 0.019$$

## **Planta de equilibrio con el Port modificado**

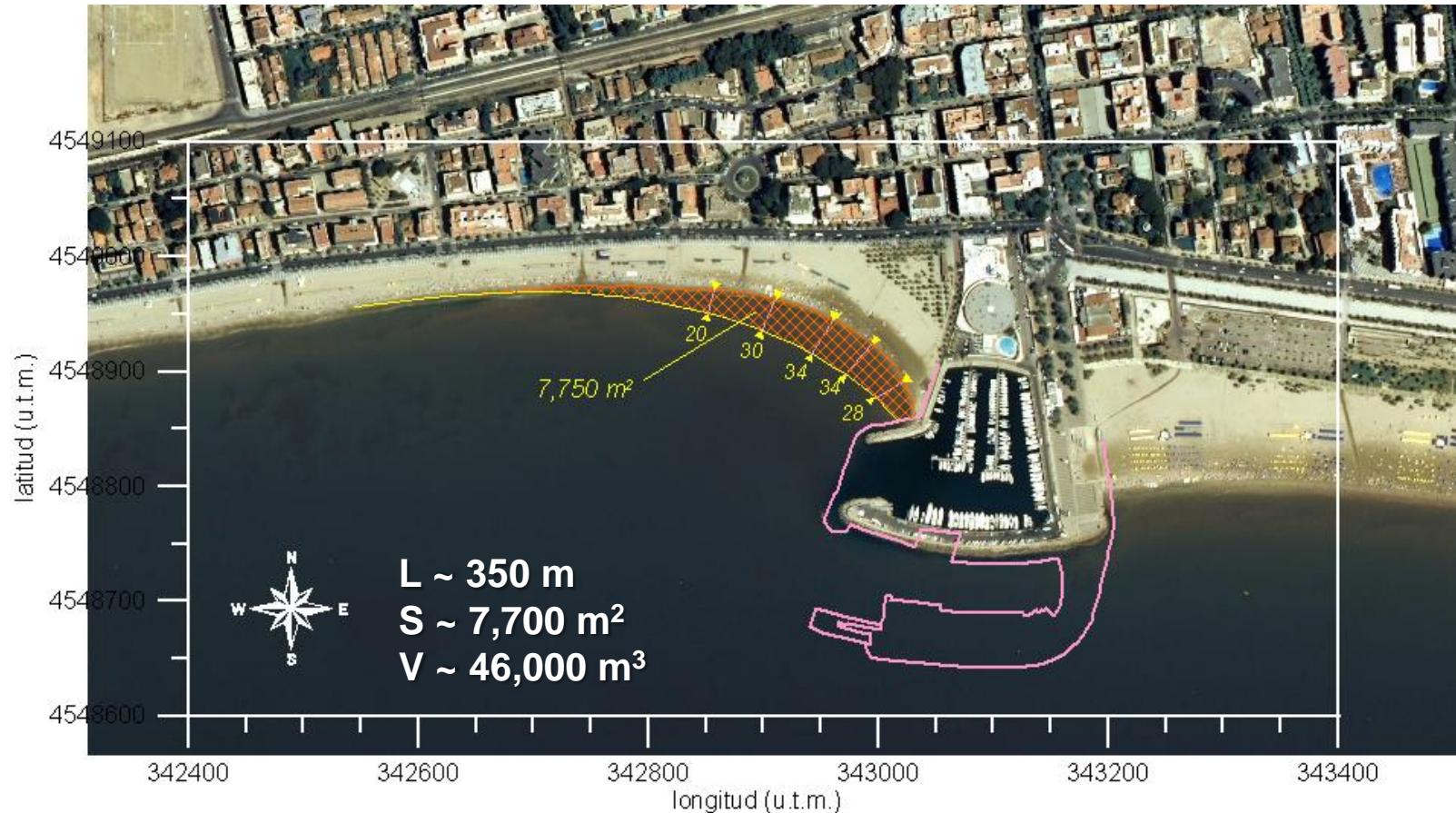
- Nuevo polo de difracción (morro del nuevo dique de abrigo).
- Dirección del oleaje incidente en el dique de abrigo no se modifica sustancialmente (variación en profundidad y distancia no muy significativa).
- Zona influenciada por la difracción a poniente mayor.

## Planta de equilibrio con el Port modificado



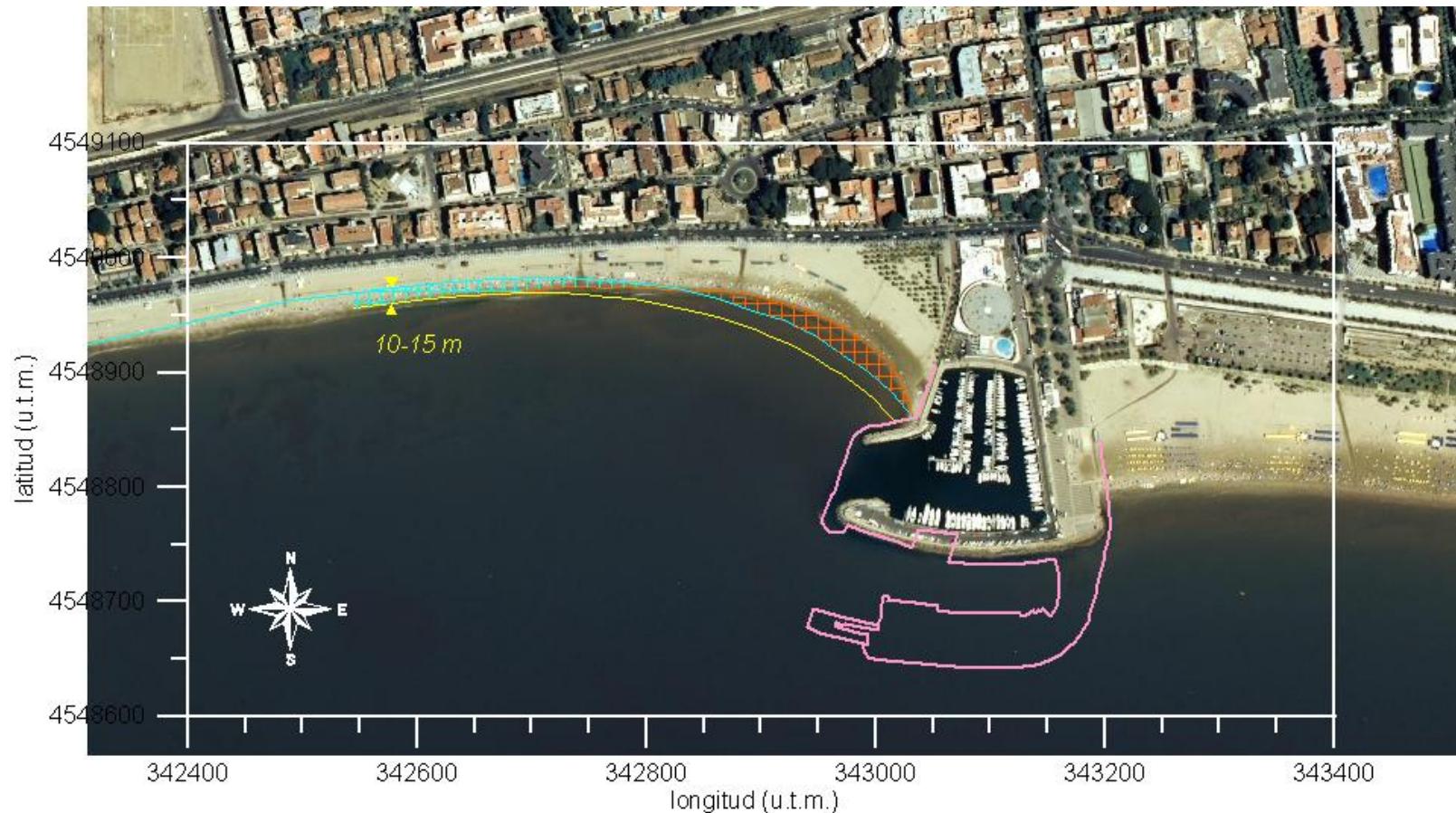
## Escenario 1.

Aporte de sedimento para que no retroceda la línea de orilla a poniente



## Escenario 2.

Sin aporte de sedimento a poniente.



# Puertos en un extremo de una Bahía Puerto y Playa de Llafranc



Port de  
Llafranc

## INTERACCION PUERTO COSTA



## Soluciones

Soluciones orientadas sectorialmente – normalmente cuando se aborda el problema portuario.

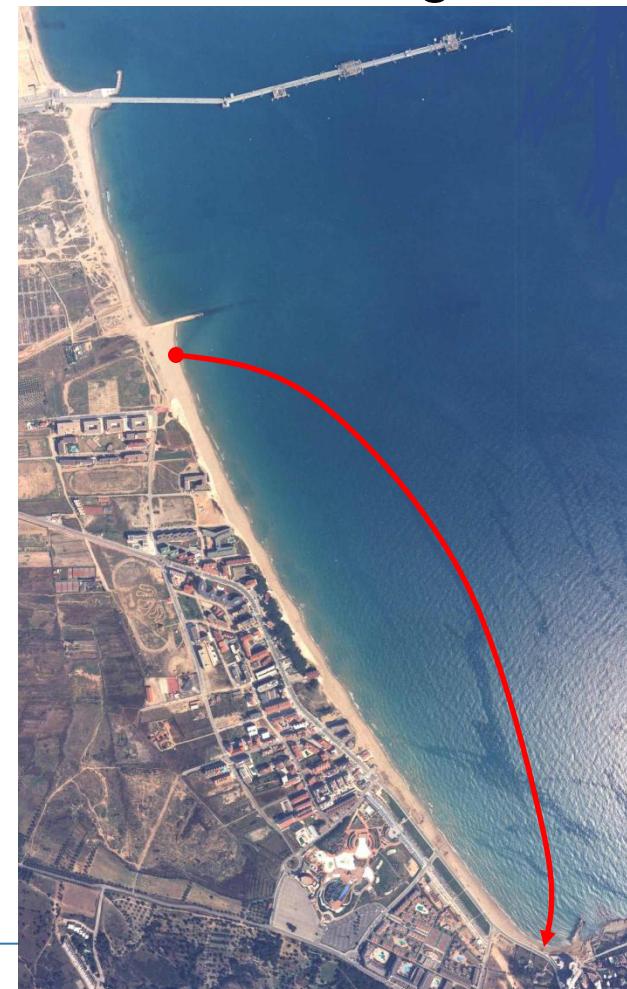


trampas de arena

## Soluciones

Soluciones orientadas globalmente – normalmente cuando se aborda el problema desde el punto de vista del gestor.

back-pass de sedimento

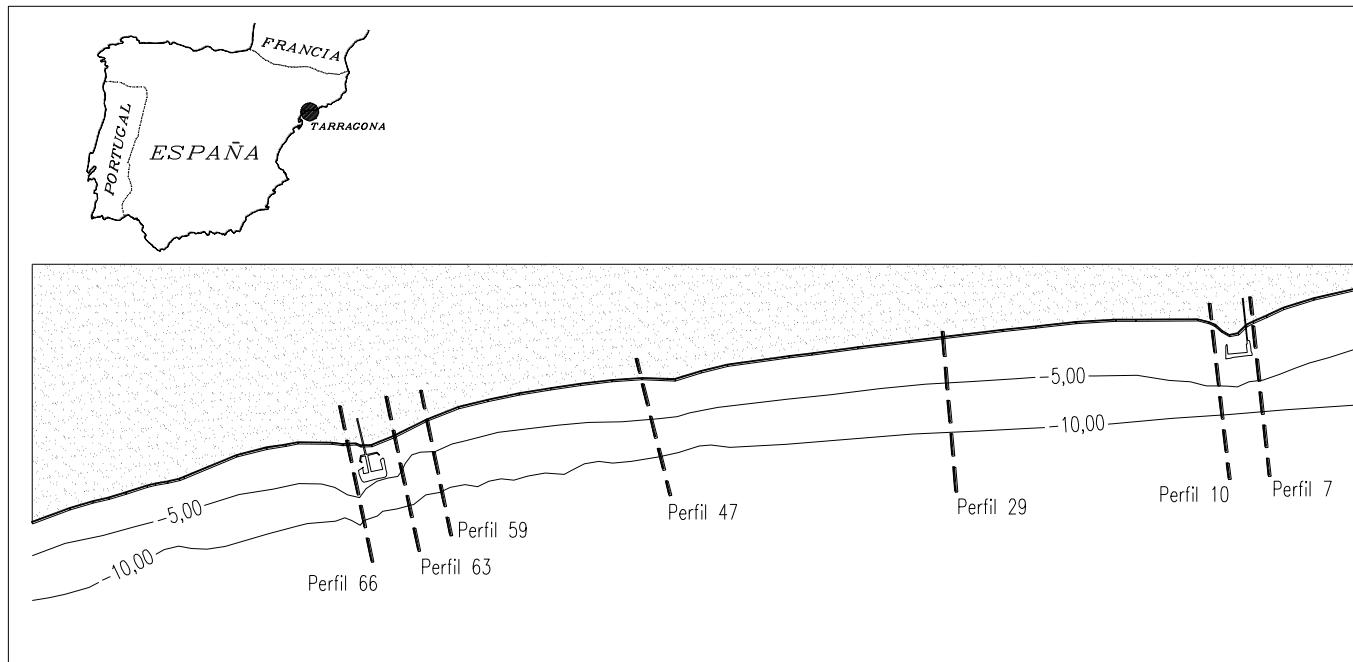


## Puertos Islas - El efecto de la difracción



## Puertos Islas - El efecto de la difracción





Comarruga Marina

70's

After two (2) years

240.000 m<sup>3</sup>

Segur de Calafell Marina

70's

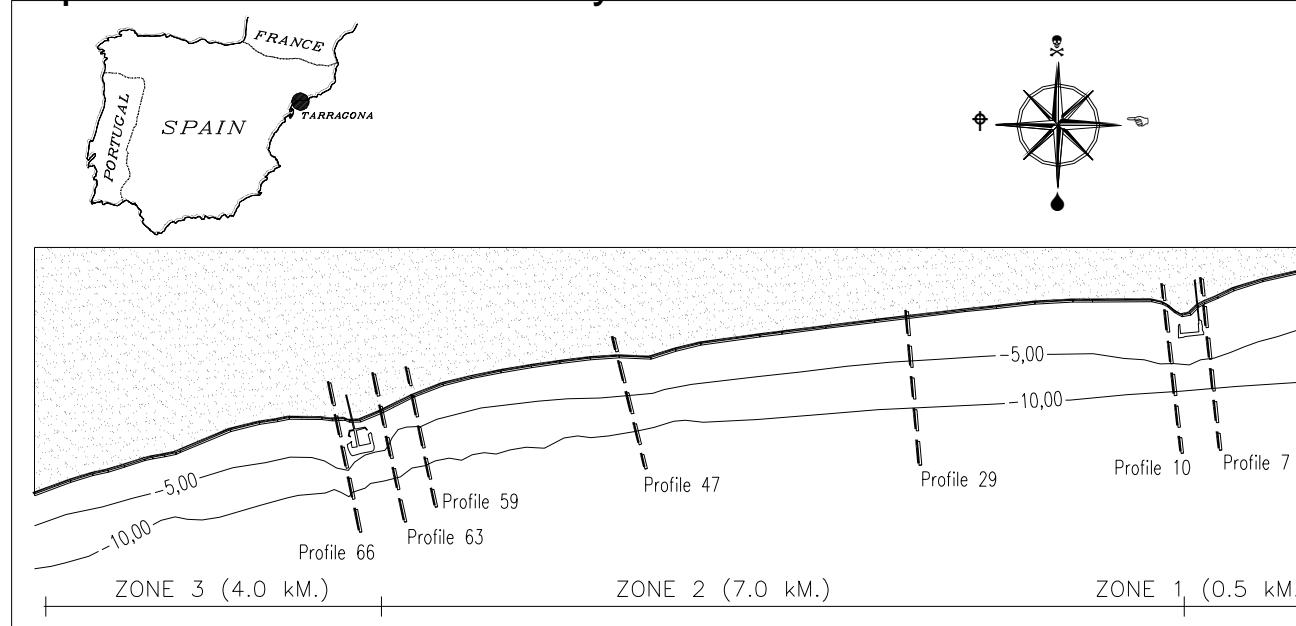
400.000 m<sup>3</sup>20.000 – 40.000 m<sup>3</sup>/year

Works outside the littoral cell affect this area

## 1986 -1991 Erosion Problems

1992 Nourishment Project by the Spanish Coastal Authority

From September 1993 to February 1994: 2.145.000 m<sup>3</sup> sand nourishment



Zone	Total amount of sand	Amount of sand per unit length
Zone 1	89,300 m <sup>3</sup>	200-300 m <sup>3</sup> / ml
Zone 2	1,273,000 m <sup>3</sup>	From 300-400 m <sup>3</sup> /ml (N) to 100-200 m <sup>3</sup> /ml (S)
Zone 3	782,700 m <sup>3</sup>	From 200-300 m <sup>3</sup> /ml (N) to 100-200 m <sup>3</sup> /ml (S)
Total	2,145,000 m <sup>3</sup>	Average 200 m <sup>3</sup> /ml

# INTERACCION PUERTO COSTA

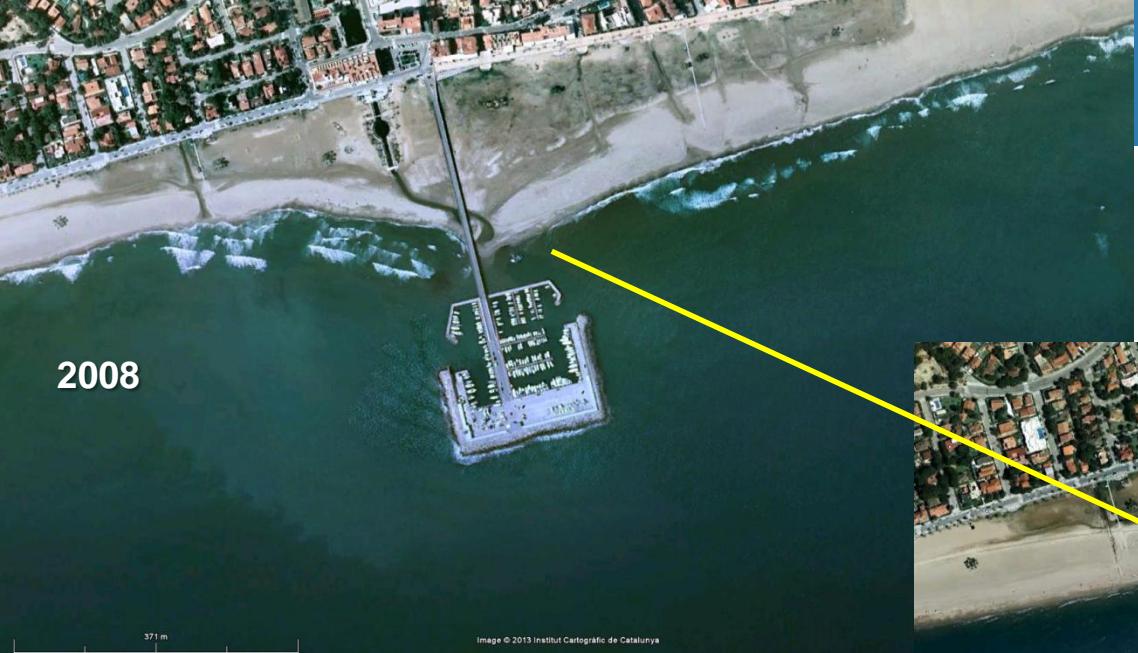
jose.jimenez@upc.edu

© José A. Jiménez



# Mantenimiento por dragado

2008



2009



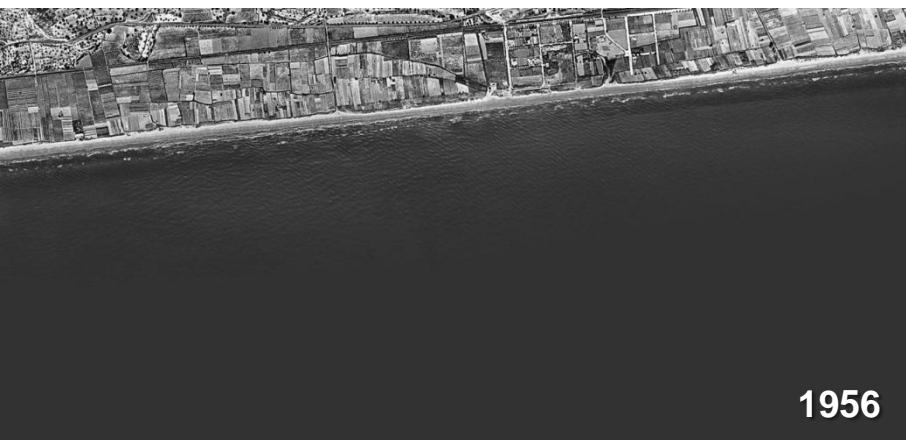
2010



# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

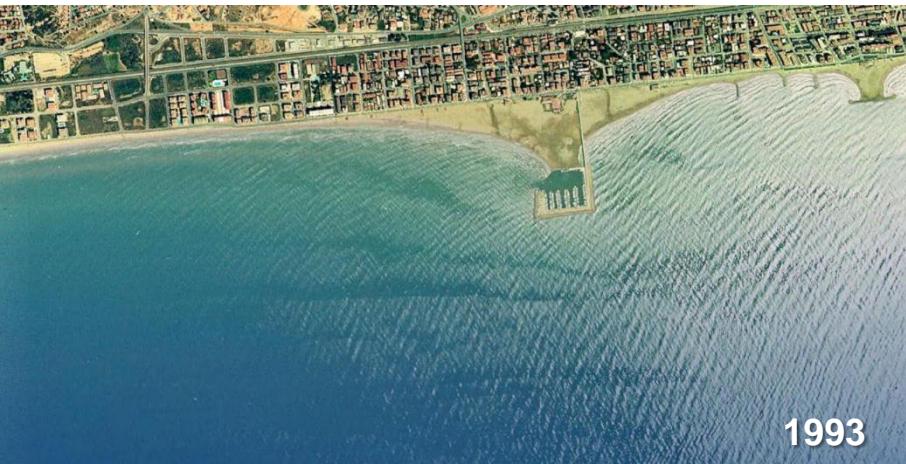
© José A. Jiménez



1956



1990



1993

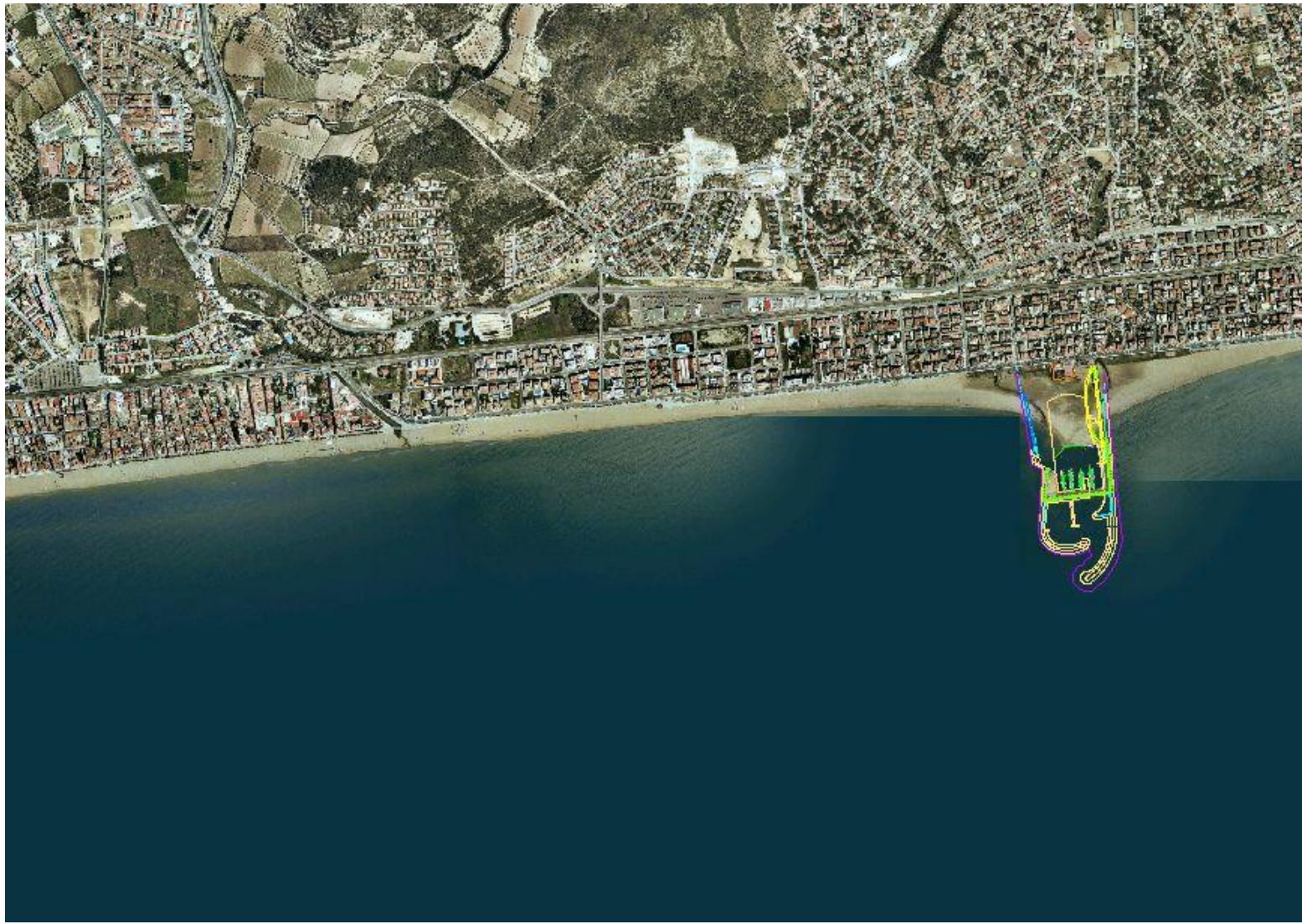


1994

# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

© José A. Jiménez



# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

© José A. Jiménez

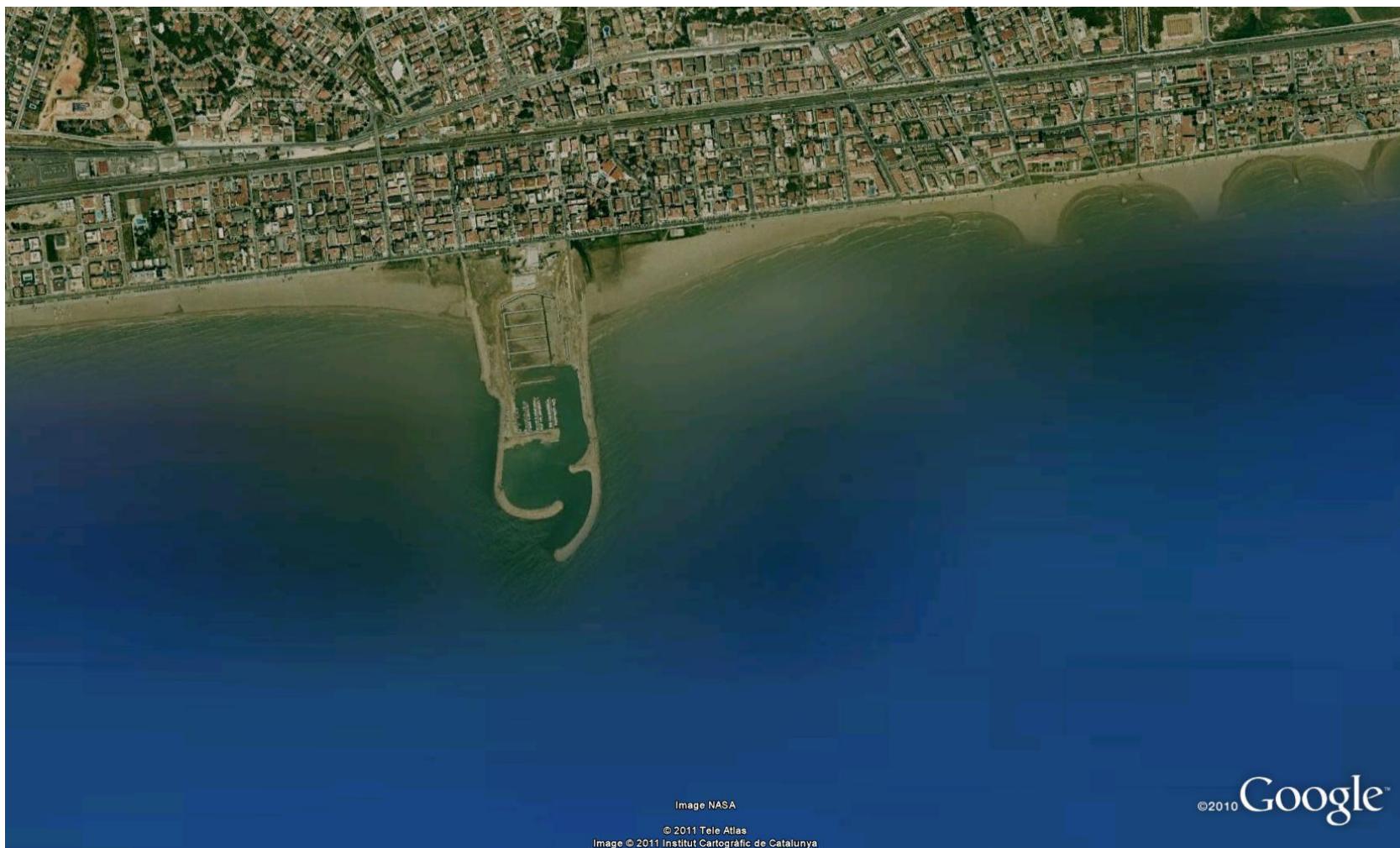


Image NASA

© 2011 Tele Atlas  
Image © 2011 Institut Cartogràfic de Catalunya

©2010 Google™

# INTERACCION PUERTO COSTA

jose.jimenez@upc.edu

© José A. Jiménez



Image © 2011 Institut Cartogràfic de Catalunya

© 2011 Tele Atlas

Image © 2011 TerraMetrics

©2010 Google™