

# Transporte de sedimentos y perfil de playa

Gestión Integral de Puertos y Costas  
Curso 2016-2017

Grado en Ingeniería Civil  
Especialidad Transportes y Servicios Urbanos

Rafael J. Bergillos  
rbergillos@ugr.es



# ÍNDICE

## 1. Transporte de sedimentos

1.1 Introducción

1.2 Tipos y modos de transporte

1.3 Inicio del movimiento

1.4 Formas de lecho

1.5 Cálculo de tasas de transporte

1.6 Transporte transversal

1.7 Estudio de la dinámica litoral

## 2. Perfil de playa y regeneraciones

2.1 Perfil de invierno y de verano

2.2 Perfil de equilibrio. Profundidad de cierre

2.3 Regla de Bruun

2.4 Regeneraciones. Ejemplos

1

# Transporte de sedimentos



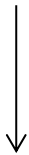
Dinámica Ambiental

UNIVERSIDAD DE GRANADA

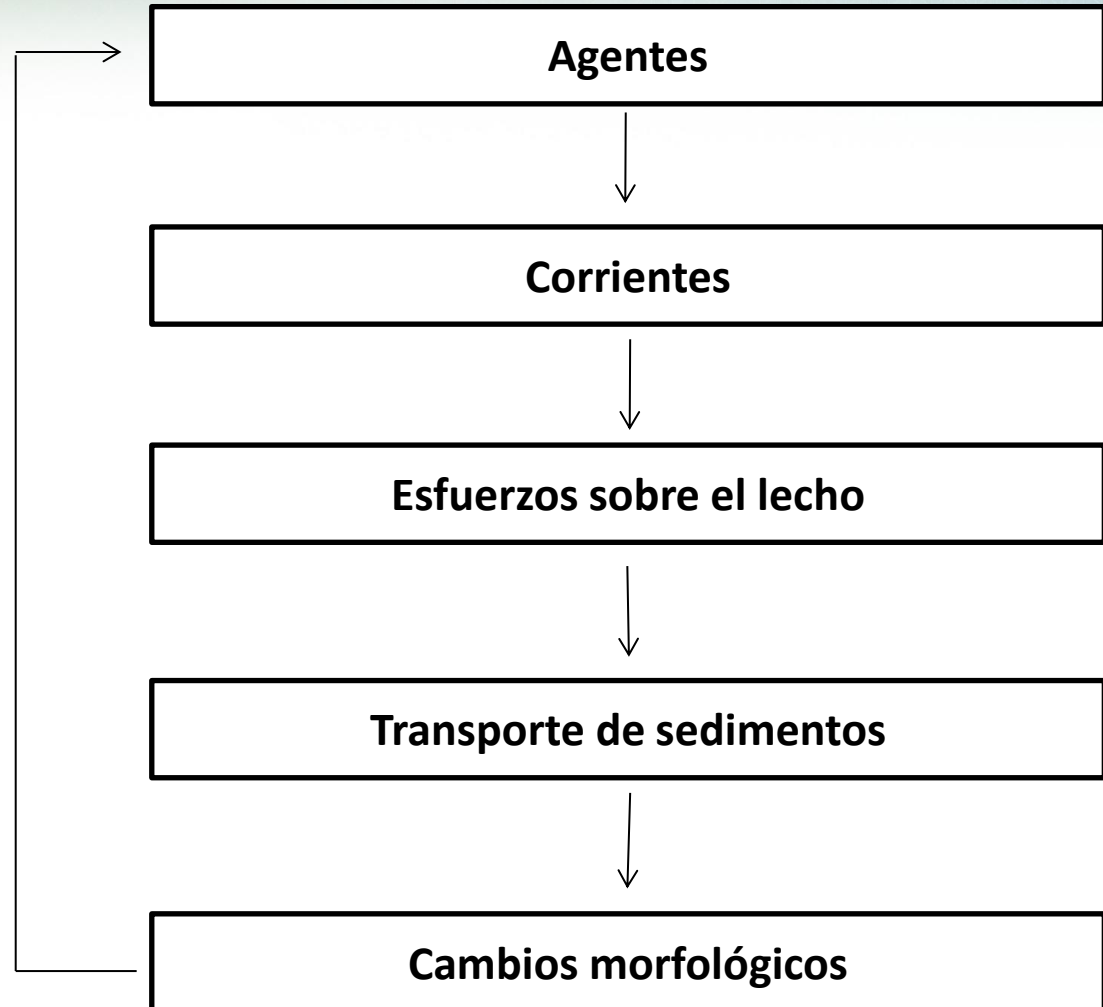
# 1. Transporte de sedimentos

## 1. Introducción

Retroalimentación  
(Bucle morfodinámico)



Distintas escalas



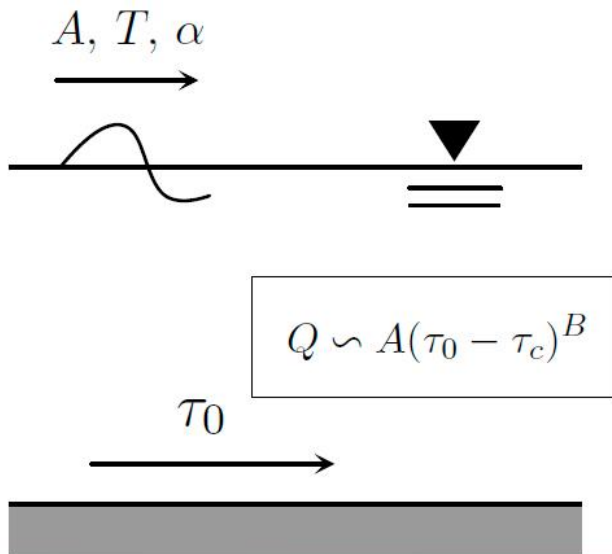
# 1. Transporte de sedimentos

## 1. Introducción

Definición:

**“Movimiento de las partículas de sedimento debido a la acción del flujo sobre ellas”**

Tasa de transporte:



Aplicaciones:

- Evolución morfológica de la costa.
- Erosión y aterramiento de estructuras submarinas.
- Análisis del impacto de obras marítimas (operatividad y gestión de la costa).
- Erosión en pilas y estructuras.

# 1. Transporte de sedimentos

## 2. Tipos y modos de transporte

### Tipos:

- Transversal: perpendicular a la línea de costa.
- Longitudinal: paralelo a la línea de costa.

### Modos:

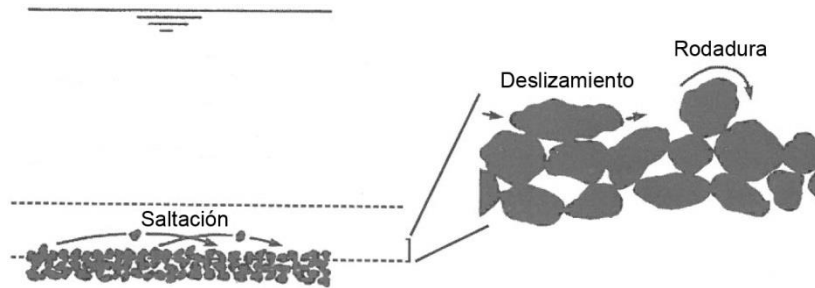
- **Transporte por fondo**: partículas en contacto permanente o intermitente con el lecho. Movimiento limitado por el efecto de la gravedad: rodadura, deslizamiento o saltación.
- **Transporte en suspensión**: las partículas son transportadas sin estar en contacto con el lecho por efecto de las fuerzas turbulentas.
- **Carga de lavado (“wash load”)**: partículas muy finas transportadas por el flujo de agua que no están presentes en el lecho.

# 1. Transporte de sedimentos

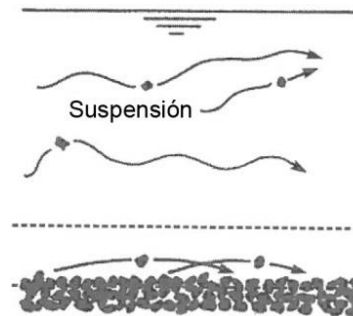
## 2. Tipos y modos de transporte

Modos:

- **Transporte por fondo:**



- **Transporte en suspensión:**

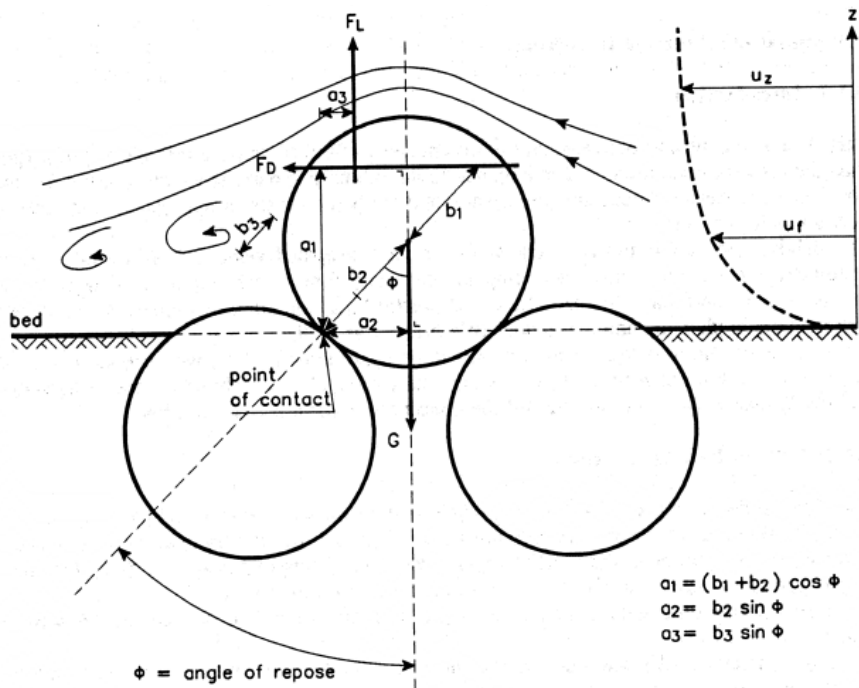


- **Carga de lavado:**

# 1. Transporte de sedimentos

## 3. Inicio del movimiento

Fuerzas que actúan sobre una partícula de sedimento:



Para evaluar si hay movimiento:



### Parámetro de Shields

$$\theta = \frac{F_{DESESTABILIZADORAS}}{F_{ESTABILIZADORAS}}$$

Si  $\theta > \theta_{CR}$  se produce movimiento.

$\theta_{CR}$  depende del diámetro de la partícula.

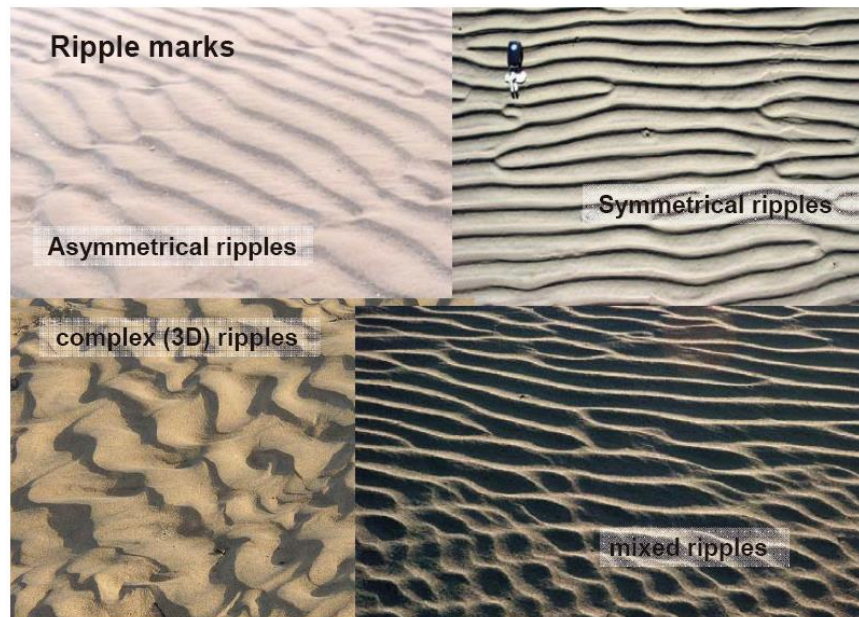


### 3. Transporte de sedimentos

#### 4. Formas de lecho

Al iniciarse el movimiento, el lecho se deforma y aparecen las siguientes morfologías:

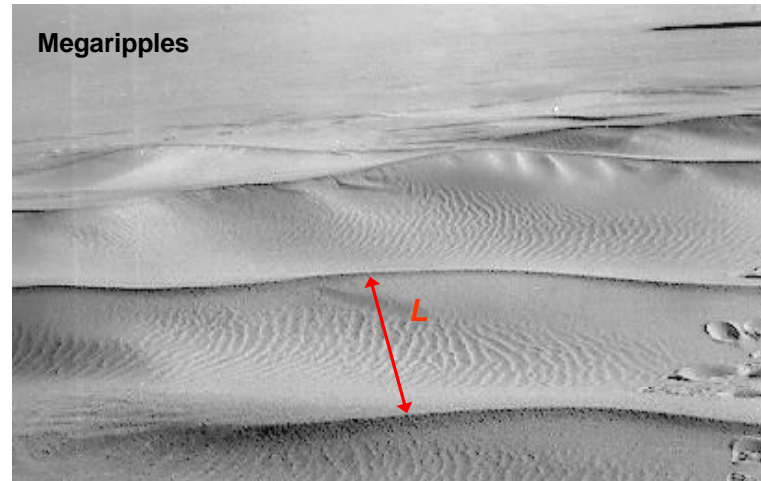
1. **Lecho plano**:  $\theta < \theta_{CR}$  y no se produce transporte de sedimentos.
2. **Ripples**: rizaduras con longitudes de onda del orden de 10 cm y amplitudes del orden de cm.



# 1. Transporte de sedimentos

## 4. Formas de lecho

3. **Megaripples**: si sigue aumentando la velocidad del fluido, se tienden a formar megaripples con longitudes de onda del orden de 100 cm y amplitudes del orden de 10 cm.



4. **Lecho plano**: si la velocidad sigue aumentando desaparecen las formas de lecho, el fondo se vuelve plano y se produce el denominado como transporte en flujo de lámina (“sheet flow”).

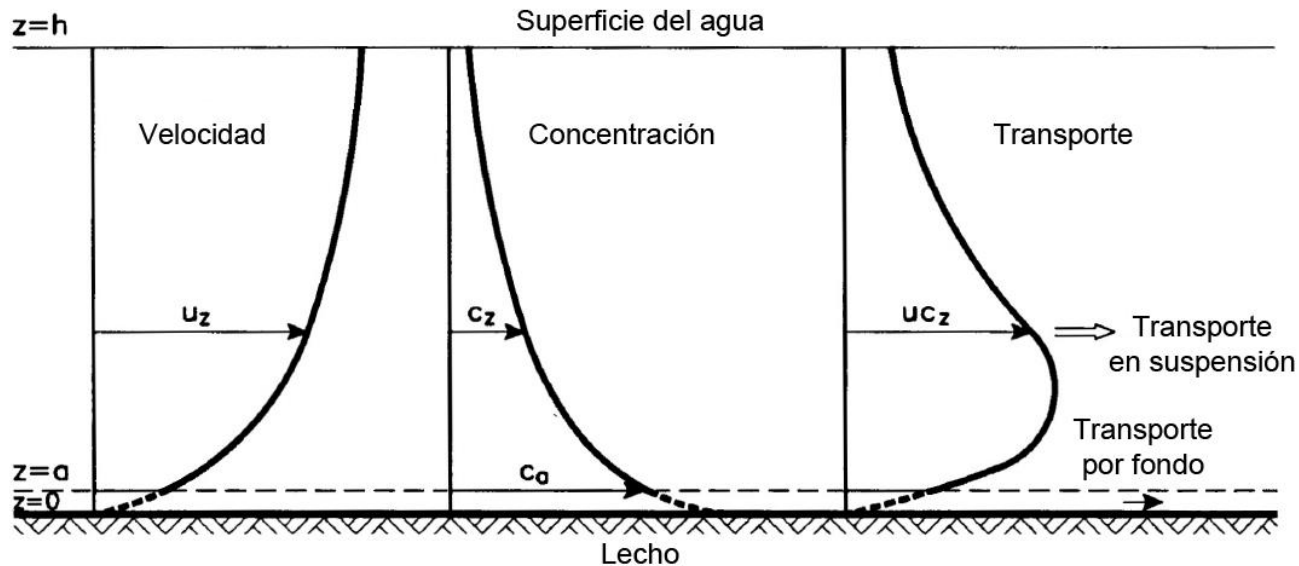
# 1. Transporte de sedimentos

## 5. Cálculo de tasas de transporte

1. **Adopción de tasas vecinas**: asignar el transporte de sedimentos conocido en un tramo de costa a otro que se encuentre relativamente cerca → Poco preciso.
2. **Cálculo con distintas batimetrías**: La tasa media de transporte sería la diferencia de volumen entre el intervalo de tiempo entre la toma de datos batimétricos → Muy costoso.
3. **Medidas de campo**: requieren instrumentación específica y mucha mano de obra. Las muestras se toman con una “trampa de sedimentos” que acumula el material transportado en una sección transversal.
4. **Fórmulas de cálculo**: relacionan parámetros del oleaje con el transporte de sedimentos.

# 1. Transporte de sedimentos

## 6. Transporte transversal



$$q_t = q_b + q_s = \int_0^a u(z) c(z) dz + \int_a^h u(z) c(z) dz$$

**Expresiones para  $q_b$  y  $q_s$ :** empíricas, basadas en enfoques energéticos, etc.

# 1. Transporte de sedimentos

## 6. Transporte transversal

¿Hacia donde se mueve el sedimento? Transporte *offshore* vs *onshore*

Sunamura & Takeda (1984): 
$$\frac{H}{L_0} = C (\tan \bar{\beta})^{-0.27} \left( \frac{D}{L_0} \right)^{0.67}$$

C=18 – Constante empírica

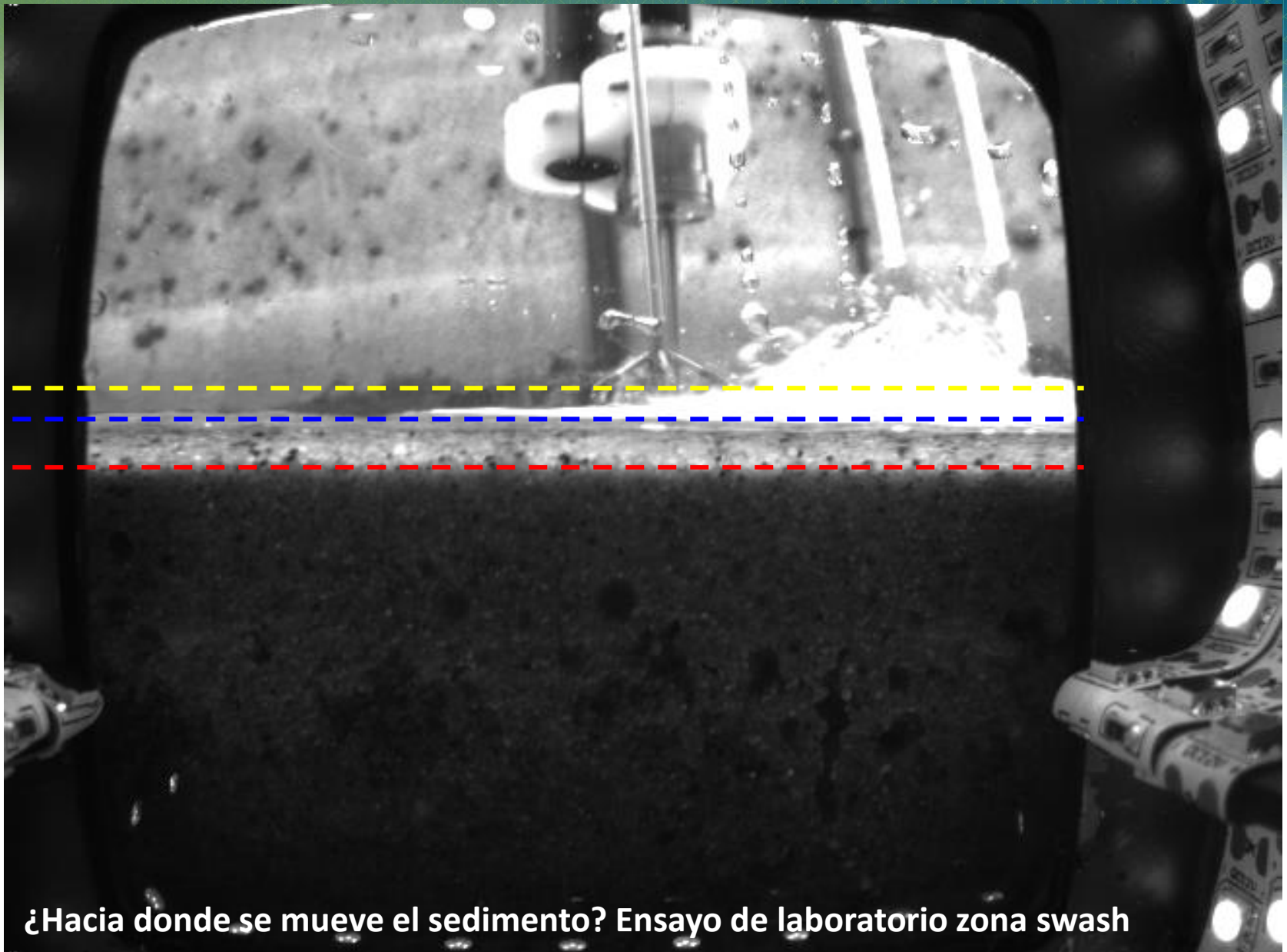
Si término izquierdo > derecho: transporte *offshore* - erosión

Si término izquierdo < derecho: transporte *onshore* - recuperación

Pero...

- Otros factores (ej: transporte longitudinal, marea) influyen en la respuesta de la costa. Distintas escalas.
- Es necesario un esfuerzo mínimo para que se produzca transporte.

$t_1$   
 $t_2$   
 $t_0$



¿Hacia donde se mueve el sedimento? Ensayo de laboratorio zona swash



¿Hacia dónde se mueve el sedimento? Ciclo erosión-recuperación Playa de Carchuna



¿Hacia dónde se mueve el sedimento? Ciclo erosión-recuperación Playa de Carchuna





¿Hacia dónde se mueve el sedimento? Ciclo erosión-recuperación Playa de Carchuna

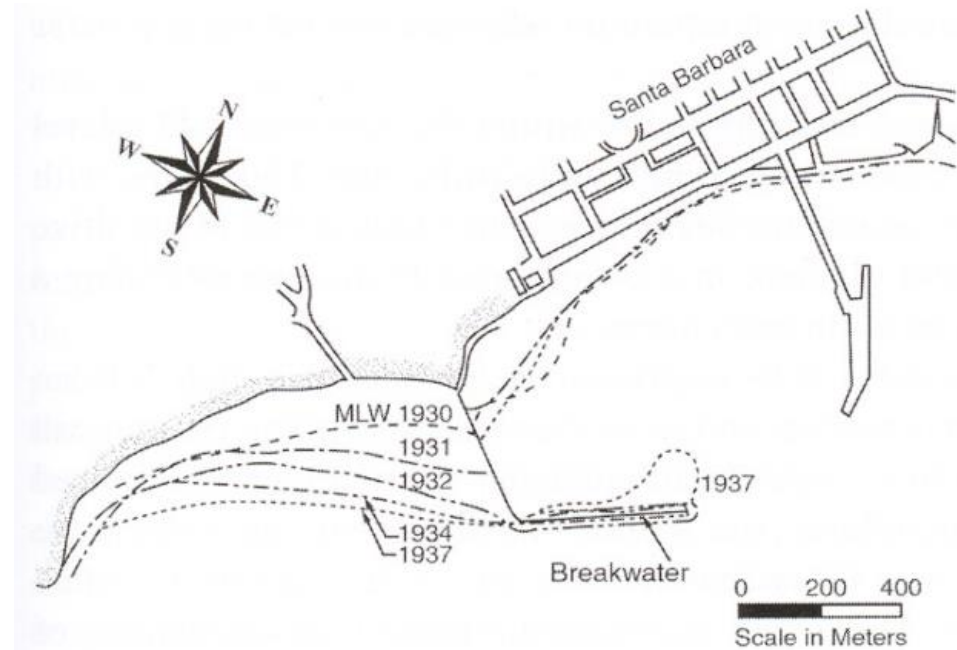


¿Hacia dónde se mueve el sedimento? Ciclo erosión-recuperación Playa de Carchuna

# 1. Transporte de sedimentos

## 7. Estudio de la dinámica del litoral

1. Descripción física de la zona de estudio
2. Evolución histórica de la línea de costa
3. Clima marítimo
4. Propagación de oleaje

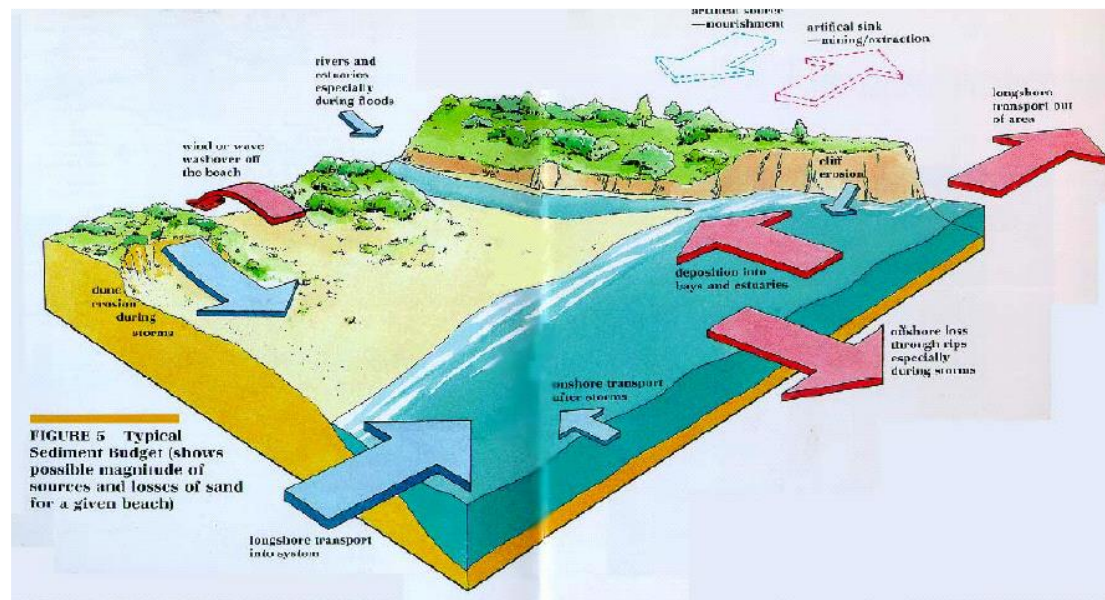


**Figure 8.1** Historical shorelines at Santa Barbara, California (from Johnson 1957). Leadbetter Beach is on the left.

# 1. Transporte de sedimentos

## 7. Estudio de la dinámica del litoral

### 5. Transporte de sedimentos (transversal y longitudinal)



## 6. Diagnóstico de la situación

## 7. Propuesta de soluciones

2

# Perfil de playa y regeneraciones



Dinámica Ambiental

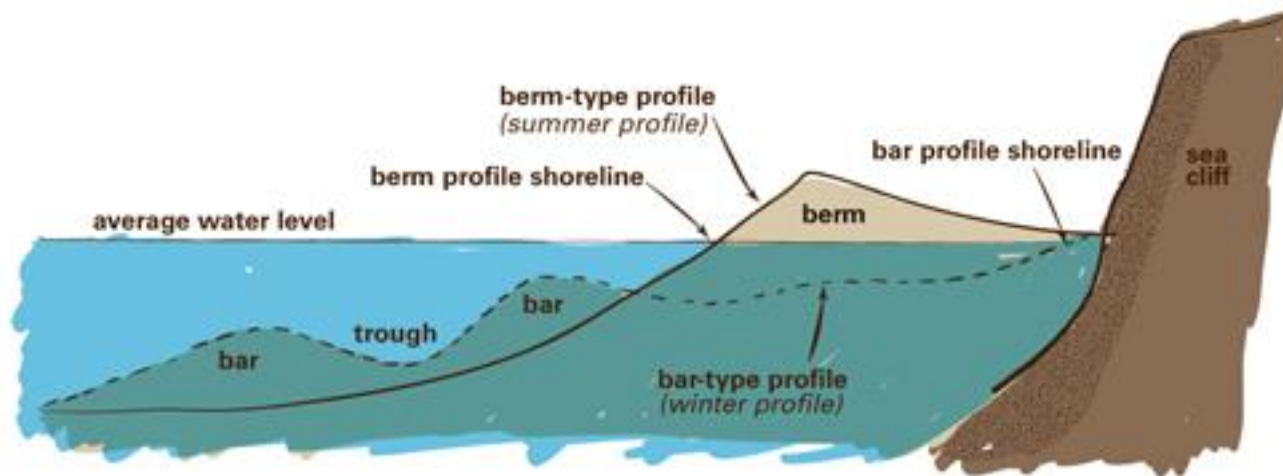
UNIVERSIDAD DE GRANADA

## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 1. Perfil de invierno y de verano

Ya que el perfil depende de la cantidad de energía que es capaz de disipar, su forma varía de invierno a verano. En general:

- **Invierno:** más tendido y con presencia de barras.
- **Verano:** más pendiente, puede tener berma.



## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 2. Perfil de equilibrio

#### **Perfil de equilibrio dinámico:**

*“Perfil medio que no se mueve en la dirección transversal”*

El perfil de playa es capaz de soportar una cierta tasa de disipación de energía “crítica” sin modificarse:

- Si el oleaje que llega al perfil contiene un flujo de energía menor que esa disipación crítica no se producen cambios en el perfil.
- Si el flujo de energía es mayor, el perfil variará su forma tendiendo a adquirir una configuración en la que disipe más energía.

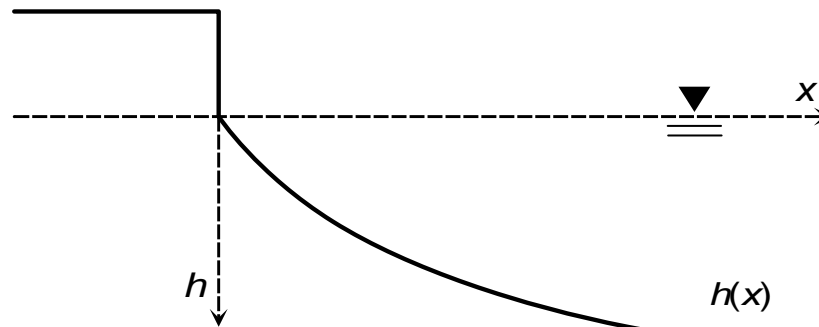
## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 2. Perfil de equilibrio

Matemáticamente:

$$h(x) = Ax^{2/3}$$

Donde  $h$  es la profundidad,  $x$  es la distancia a la costa y  $A$  es un **factor de escala** que depende fundamentalmente del tamaño del sedimento.





## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 2. Perfil de equilibrio: factor de escala

**Table 7.2** Summary of Recommended  $A$  Values ( $m^{1/3}$ ) for Diameters from 0.10 to 1.09 mm

<b>d (mm)</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.08</b>	<b>0.09</b>
0.1	0.063	0.0672	0.0714	0.0756	0.0798	0.084	0.0872	0.0904	0.0936	0.0968
0.2	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.115	0.117	0.119	0.121	0.123
0.3	0.125	0.127	0.129	0.131	0.133	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143
0.4	0.145	0.1466	0.1482	0.1498	0.1514	0.153	0.1546	0.1562	0.1578	0.1594
0.5	0.161	0.1622	0.1634	0.1646	0.1658	0.167	0.1682	0.1694	0.1706	0.1718
0.6	0.173	0.1742	0.1754	0.1766	0.1778	0.179	0.1802	0.1814	0.1826	0.1838
0.7	0.185	0.1859	0.1868	0.1877	0.1886	0.1895	0.1904	0.1913	0.1922	0.1931
0.8	0.194	0.1948	0.1956	0.1964	0.1972	0.198	0.1988	0.1996	0.2004	0.2012
0.9	0.202	0.2028	0.2036	0.2044	0.2052	0.206	0.2068	0.2076	0.2084	0.2092
1.0	0.210	0.2108	0.2116	0.2124	0.2132	0.2140	0.2148	0.2156	0.2164	0.2172

## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 2. Perfil de equilibrio: profundidad de cierre

Matemáticamente:

$$h(x) = Ax^{2/3}$$

Donde  $h$  es la profundidad,  $x$  es la distancia a la costa y  $A$  es un factor de escala que depende fundamentalmente del tamaño del sedimento.

Este perfil llega a una profundidad máxima llamada **profundidad de cierre**:

$$h_* = 1,57H_{s,12}$$

donde  $H_{s,12}$  es la  $H_s$  superada sólo 12 horas en  $t$  años.

## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 2. Perfil de equilibrio: profundidad de cierre

Otras expresiones para el perfil de equilibrio:

**Vellinga (1984):**  $h = A \cdot x^{0.78}$

**Bodge (1992):**  $h = B \cdot (1 - e^{k \cdot x})$

Otras expresiones para la profundidad de cierre:

**Birkemeier (1985):**  $h^* = 1.75 \cdot H_{e,t} - 57.9 \cdot \frac{H_{e,t}^2}{g \cdot T_{e,t}^2}$

**Hallermeier (1981):**  $h^* = 2.28 \cdot H_{e,t} - 68.5 \cdot \frac{H_{e,t}^2}{g \cdot T_{e,t}^2}$

$H_{e,t}$ :  $H_s$  excedida 12 horas en  $t$  años /  $T_{e,t}$ :  $T_p$  asociado a  $H_{e,t}$

Dean & Dalrymple (2004). Coastal processes with engineering applications. Chapters 7 & 8.

## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 3. Regla de Bruun

Estimación del retroceso de la línea de costa debido a una subida del nivel medio del mar.

Bruun estudió este problema utilizando el concepto de perfil de equilibrio.

La hipótesis básica es que el *volumen que hace falta para mantener la forma del perfil después de una subida del nivel de mar  $S$  es el mismo que se pierde por el hecho de tener un retroceso de playa  $R$ .*

$$R = \frac{S}{\tan \theta}$$

Siendo  $\theta$  la pendiente media del perfil hasta la profundidad de cierre.

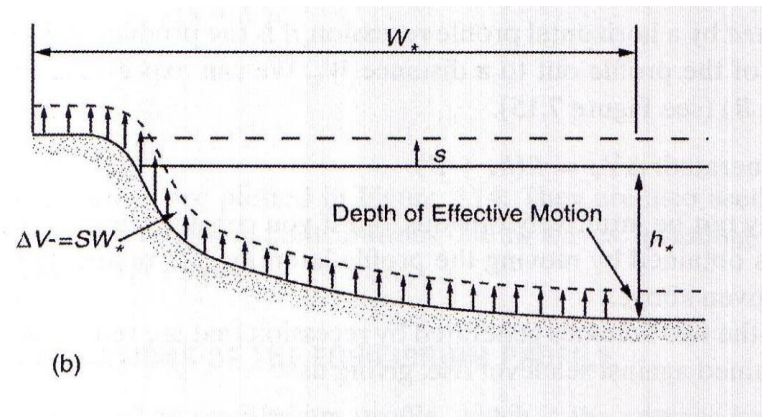
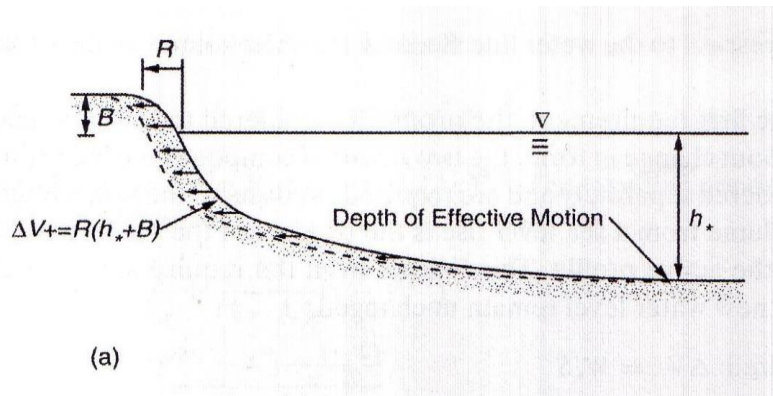
## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 3. Regla de Bruun

La hipótesis básica es que el *volumen que hace falta para mantener la forma del perfil después de una subida del nivel de mar  $S$  es el mismo que se pierde por el hecho de tener un retroceso de playa  $R$ .*

$$R = \frac{S}{\tan \theta}$$

Siendo  $\theta$  la pendiente media del perfil hasta la profundidad de cierre.



## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4. Regeneraciones

Las regeneraciones de playas son aportes artificiales de sedimento. En general, persiguen dos posibles fines:

- Ganar playa seca en una zona, principalmente para uso recreativo.
- Proteger un tramo de costa frente al paso de temporales.

#### Ventajas:

- Resultados inmediatos.
- Más respetuosa con las zonas cercanas que la construcción de diques o espigones.

#### Inconvenientes:

- Vida útil reducida.

## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4. Regeneraciones

Durante esta vida útil, la regeneración pasa por distintas fases:

1. Se realiza la regeneración con una pendiente superior a la del perfil de equilibrio para las condiciones medias de la playa.
2. La pendiente disminuye y se acerca a la de equilibrio.
3. Se llega a la situación original.

Lo ideal es que las fases 1 y 2 duren mucho (normalmente unos 2 o 3 años). Para ello hay que calcular bien:

- El material de aportación a emplear, fundamentalmente su distribución de tamaños de grano.
- El volumen de sedimento a emplear.

## 2. Perfil de playa y regeneraciones

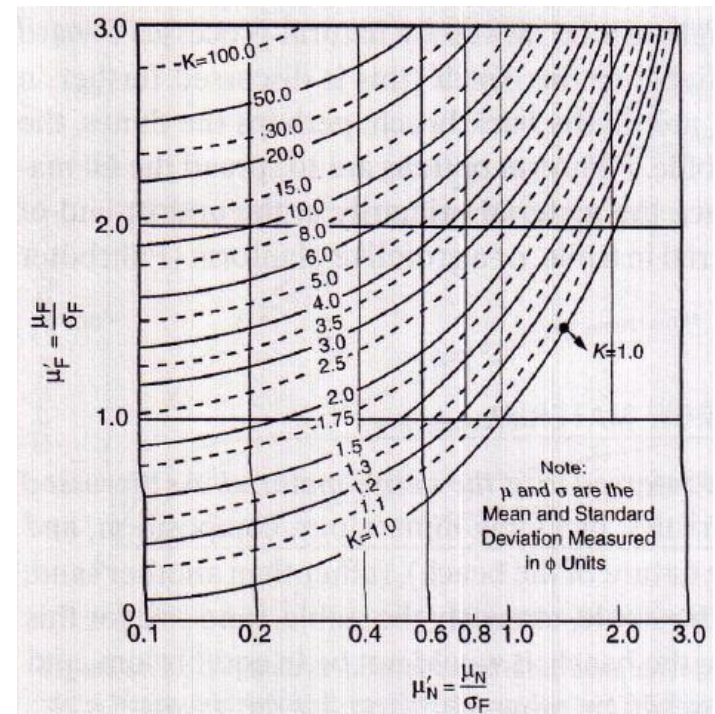
### 4. Regeneraciones

Se debe tener en cuenta:

- El sedimento nativo (el original de la playa):  $A_N$
- El sedimento de aportación:  $A_F$
- El factor de relleno:  $K$

*“Número de  $m^3$  de aportación necesarios para que se retenga un  $m^3$  en la playa”.*

Su valor se obtiene a partir de ábacos y depende de las granulometrías del material de aportación y del nativo.





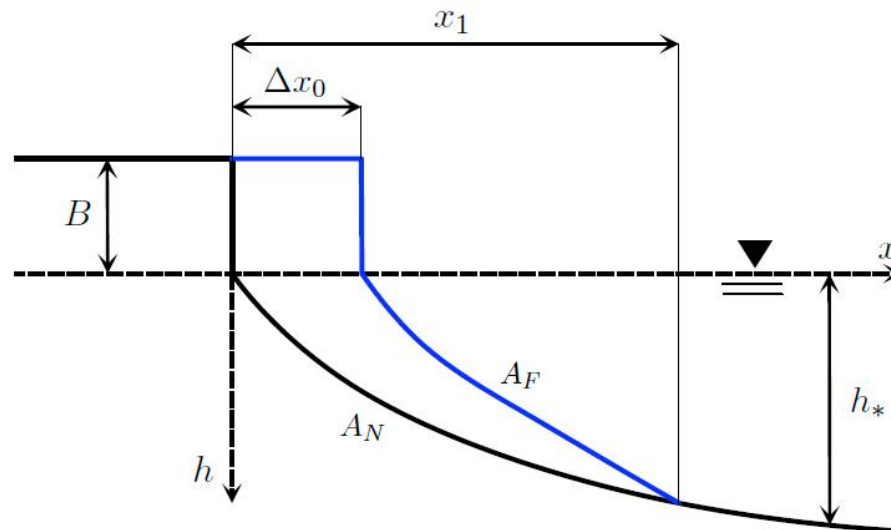
## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4. Regeneraciones

Según la relación entre  $A_N$  y  $A_F$  se distinguen tres casos:

**Perfil con intersección:**  $A_F > A_N$

El perfil que se adopta tras la regeneración es tal que el punto de intersección entre el perfil natural y el nuevo se produce antes de la profundidad de cierre. El resultado es una ganancia de playa seca.



## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4. Regeneraciones

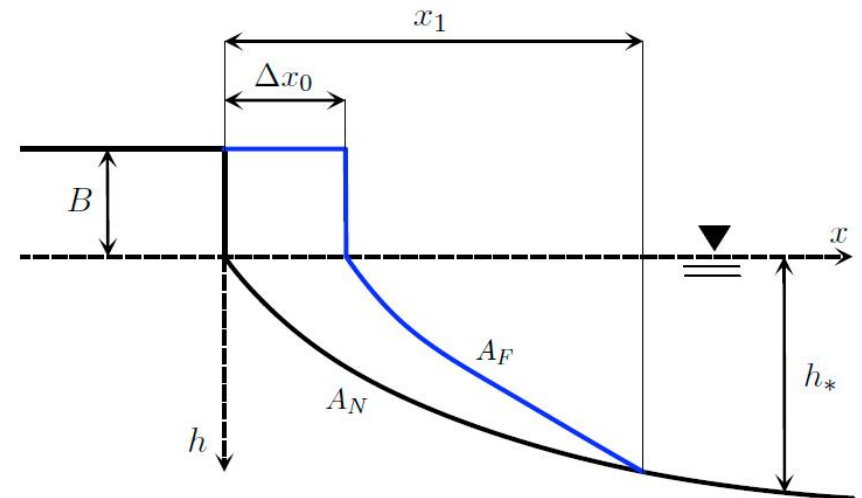
**Perfil con intersección:**  $A_F > A_N$

El **volumen de aportación** necesario para una ganancia de playa de  $\Delta x_0$ :

$$\text{Vol} = B\Delta x_0 + \left( \int_0^{x_1} A_N x^{2/3} dx - \int_{\Delta x_0}^{x_1} A_F x^{2/3} dx \right) = B\Delta x_0 + \frac{3}{5} A_N x_1^{5/3} - \frac{3}{5} A_F (x_1 - \Delta x_0)^{5/3}$$

Y el punto de intersección:

$$A_N x_1^{2/3} = A_F (x_1 - \Delta x_0)^{2/3} \Rightarrow x_1 = \frac{\Delta x_0}{1 - \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2}}$$

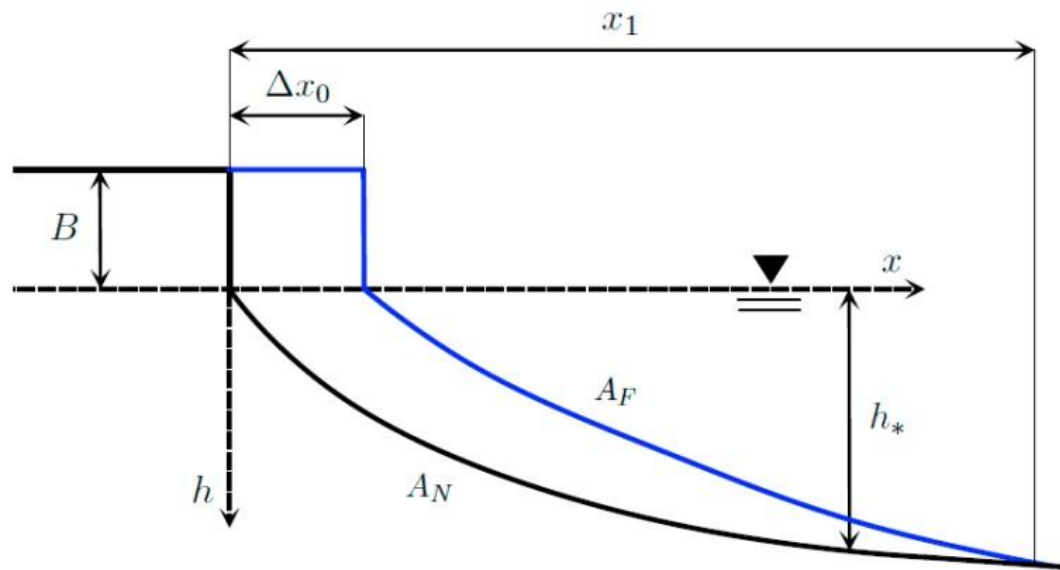


## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4. Regeneraciones

**Perfil sin intersección:**  $A_F \cong A_N$

La intersección se produce a una profundidad similar a la de cierre y la playa seca obtenida es menor, ya que gran parte del volumen vertido es necesario para rellenar el perfil con pendiente más tendida que el anterior.

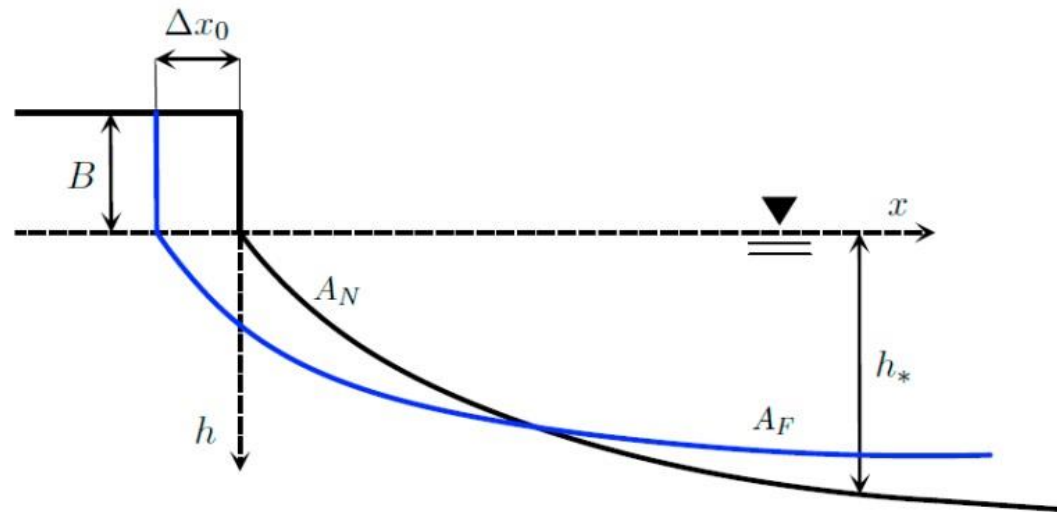


## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4. Regeneraciones

**Perfil sumergido:**  $A_F < A_N$

Se genera un perfil diferente, en tanto que se pierde playa seca y casi todo el material se dispone en la zona sumergida. La mayoría del volumen vertido se usa para formar un perfil con pendiente más tendida.

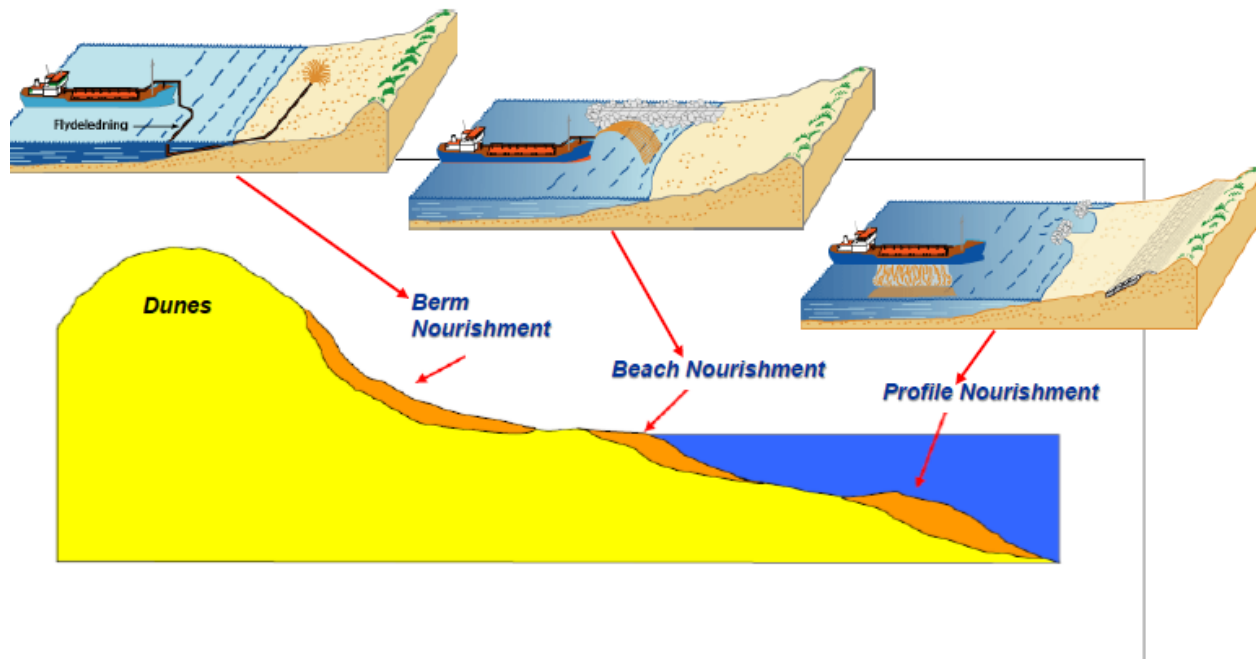


## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4. Regeneraciones

#### Importante:

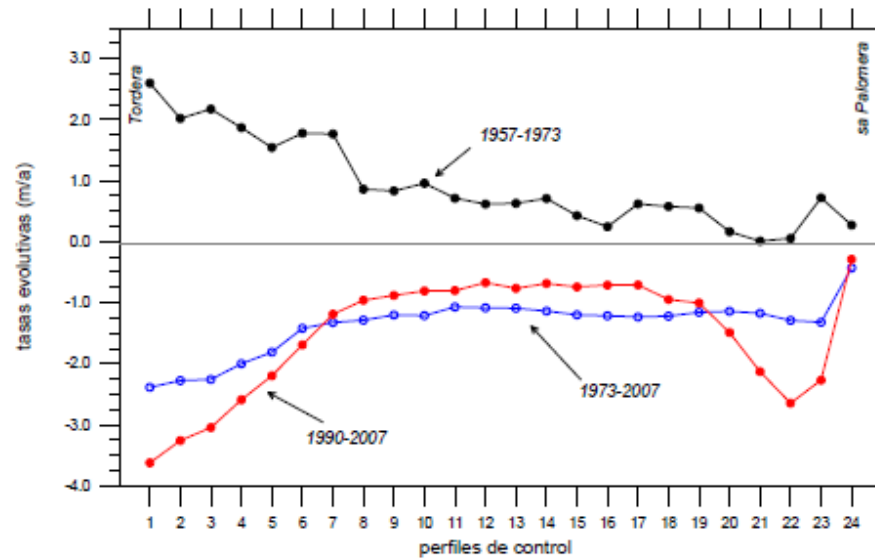
- Realizar (y/o disponer de) medidas batimétricas y topográficas.
- Tasas precisas de transporte de sedimentos: estudios de alternativas.



## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4.1 Ejemplos

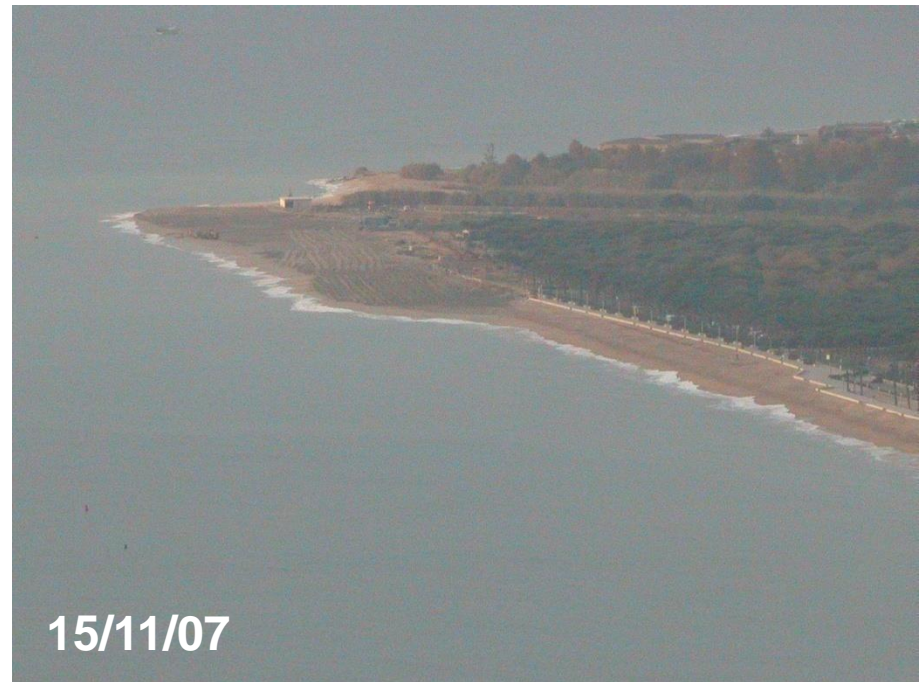
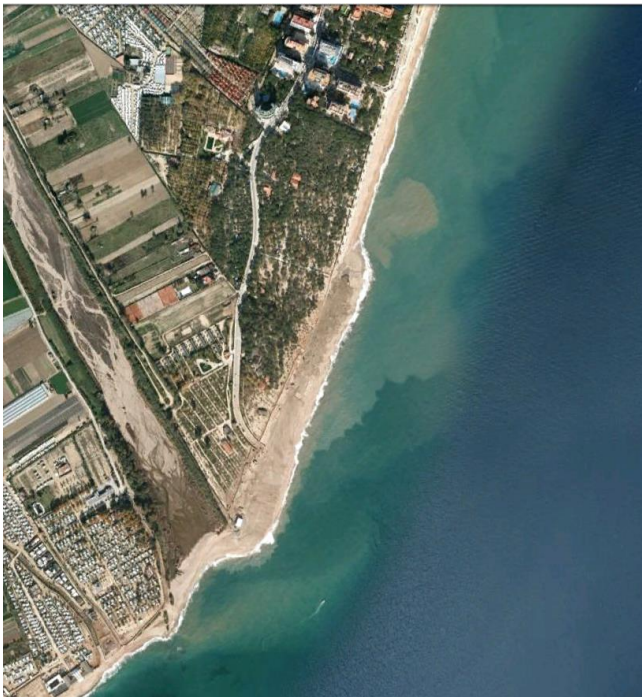
#### Desaladora de Blanes:



## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4.1 Ejemplos

#### Desaladora de Blanes:



23/11/07: Un temporal (con Hs de TR<5 años) reduce 1/3 la regeneración.

## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4.1 Ejemplos

#### **Desaladora de Blanes:**

Nuevo relleno: Aporte de 180000 m<sup>3</sup> y 1.5 millones de euros.





## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4.1 Ejemplos

#### Desaladora de Blanes:

Un nuevo temporal (con Hs de TR<5 años) 'acaba' con el sedimento aportado.

Mes	dia	Hs	Tp	$\theta$
Nov	27	3.4	8.4	35
Dic	15	4.1	9.5	75

T <sub>R</sub> (anys)	5	10	15	20	25	50	75	100
Hs (m)	4.69	5.11	5.36	5.53	5.66	6.07	6.31	6.47

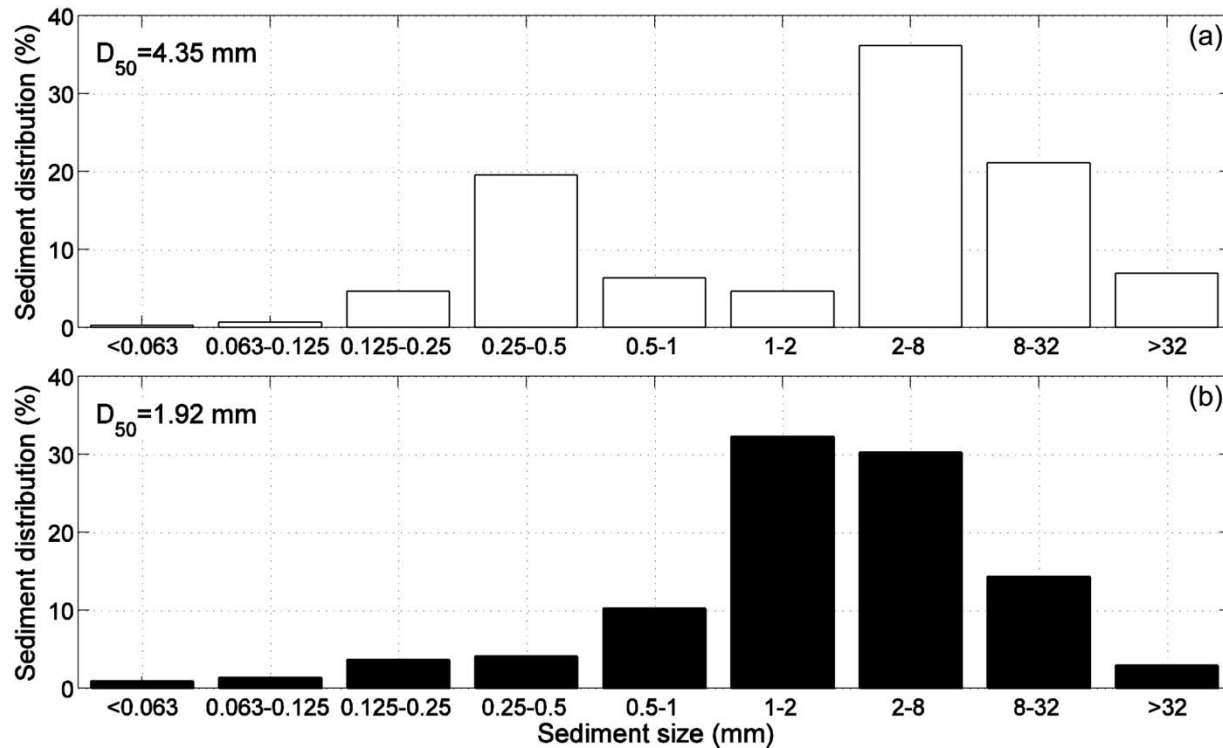


## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4.1 Ejemplos

#### Playa Granada:

Distribución sedimentos nativos Vs relleno:  $A_F < A_N$

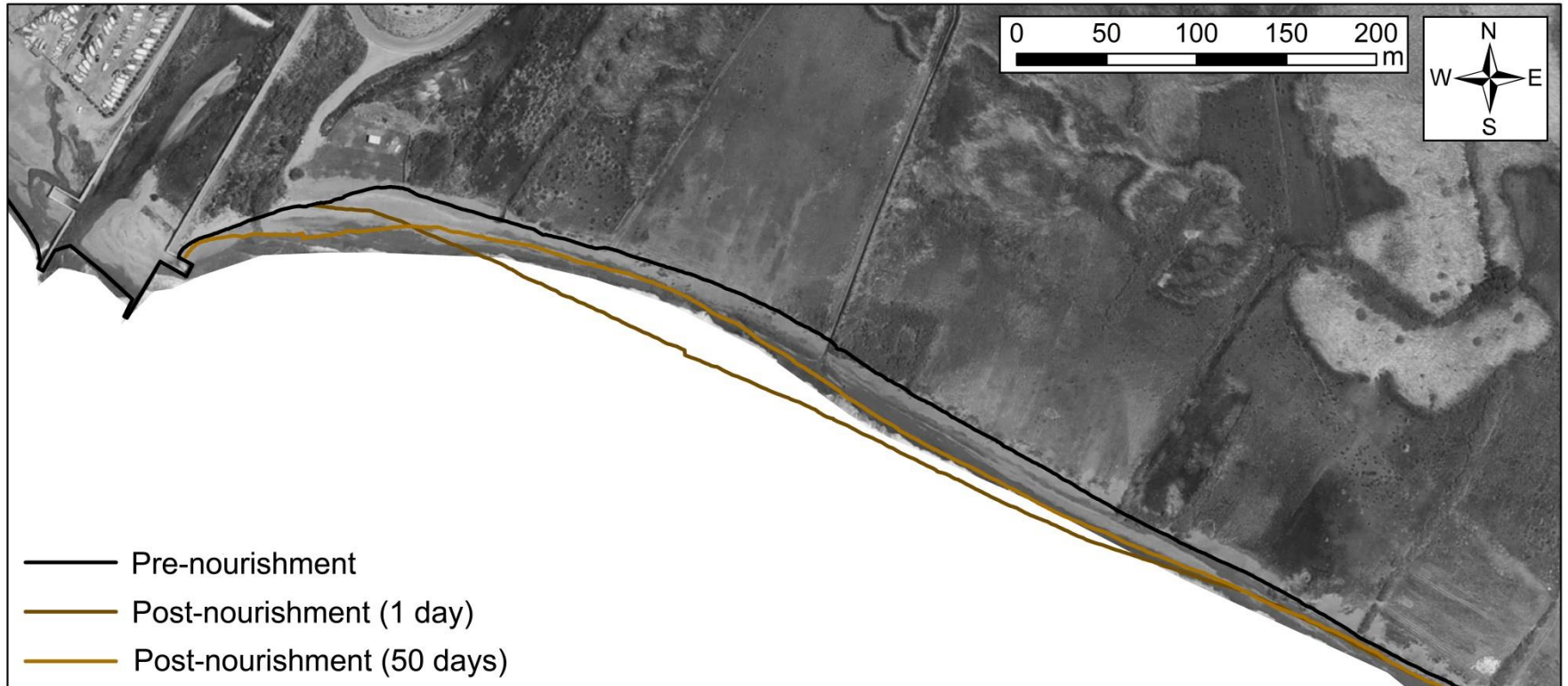


## 2. Perfil de playa y regeneraciones

### 4.1 Ejemplos

#### **Playa Granada:**

Evolución en planta:



Evolución del perfil: 30/01/2015



Evolución del perfil: 02/02/2015  
(¡Sólo tres días después!)



A large, white, stylized letter 'D' logo, centered on the page. The letter has a thick, rounded top and a curved bottom, with a white interior.

# Dinámica Ambiental

UNIVERSIDAD DE GRANADA