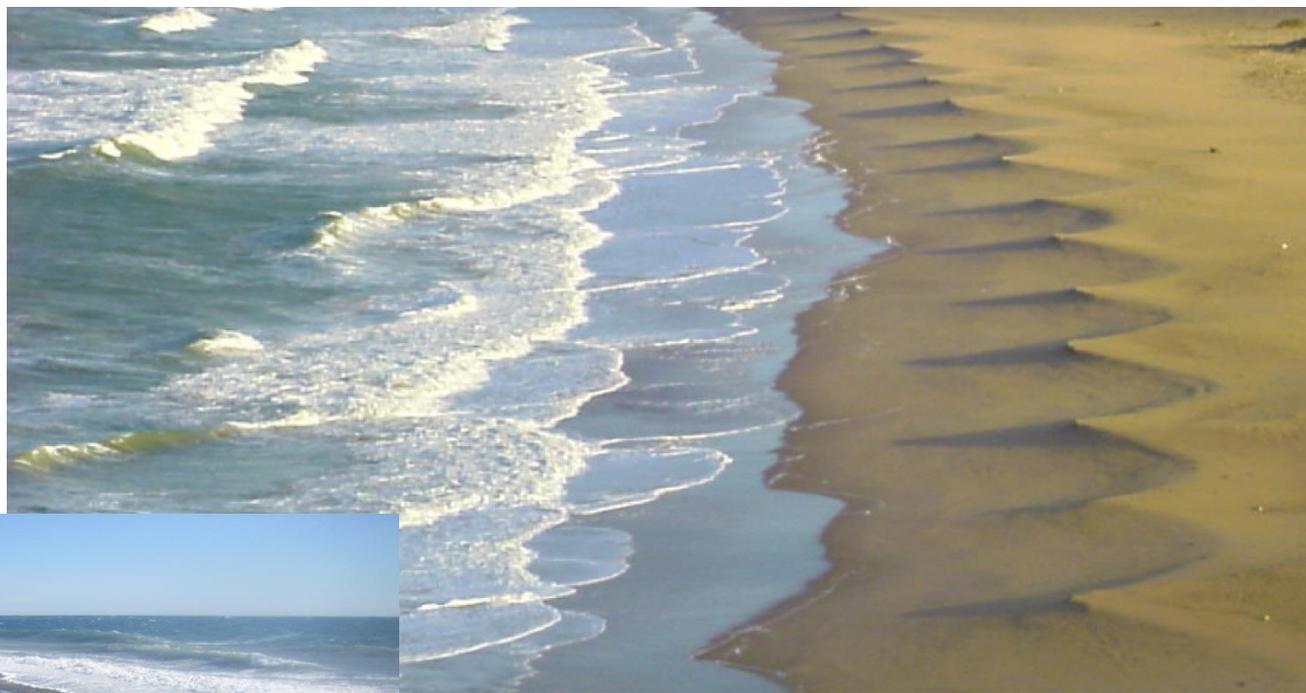




ugr | Universidad
de Granada



IISTA

Instituto Interuniversitario de Investigación
del Sistema Tierra en Andalucía

Rafael J. Bergillos
rbergillos@ugr.es

IC 2016-2017

TEMA 5 PROCESOS SEDIMENTARIOS EN LA ZONA DE ROMPIENTES

- ¿Por qué es importante estudiar y cuantificar el transporte de sedimentos?
- ¿Cómo se relaciona con el oleaje y la forma del perfil de playa?
- ¿Existen herramientas y/o pautas para el diseño de regeneraciones artificiales de sedimentos?



Objetivos:

Transporte de sedimentos: importancia, tipos y modos, formas de cuantificarlo e implicaciones en el perfil de playa. Aplicaciones prácticas y ejemplos.

5.1 Transporte de sedimentos**5.1.1 Introducción****5.1.2 Tipos y modos de transporte****5.1.3 Propiedades del sedimento****5.1.4 Inicio del movimiento. Formas de lecho****5.1.5 Cálculo de tasas de transporte****5.2 Transporte transversal y perfil de playa****5.2.1 Transporte transversal****5.2.2 Perfil de invierno y de verano****5.2.3 Perfil de equilibrio. Profundidad de cierre****5.2.4 Regeneraciones. Ejemplos****Resumen****Bibliografía:**

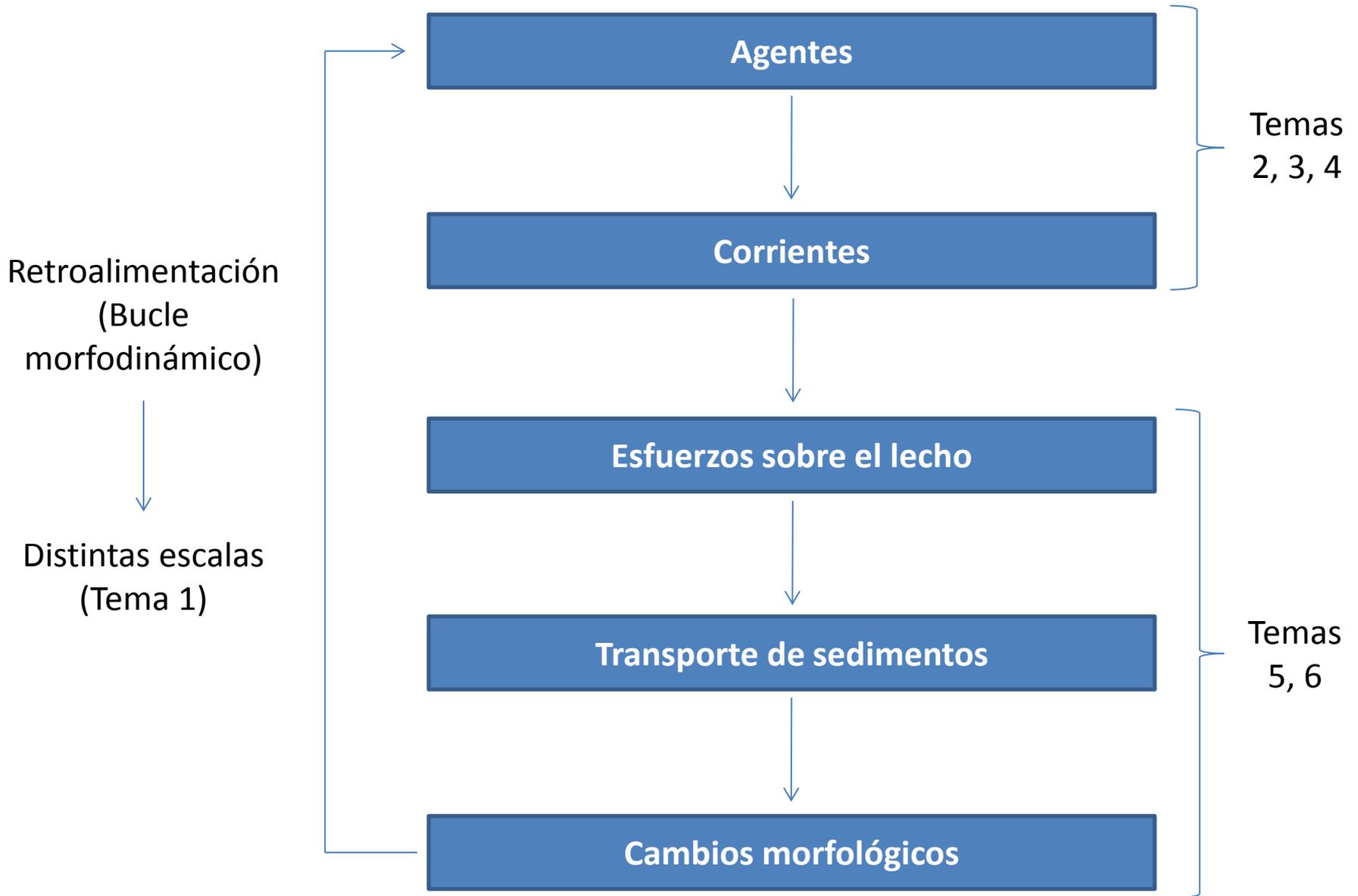
Díez-Minguito & Ortega-Sánchez (2013). Introducción al transporte de sedimentos en sistemas costeros.

Masselink , Hughes & Knight (2014). Introduction to coastal processes and geomorphology.

Dean & Dalrymple (2002). Coastal Processes with Engineering Applications.

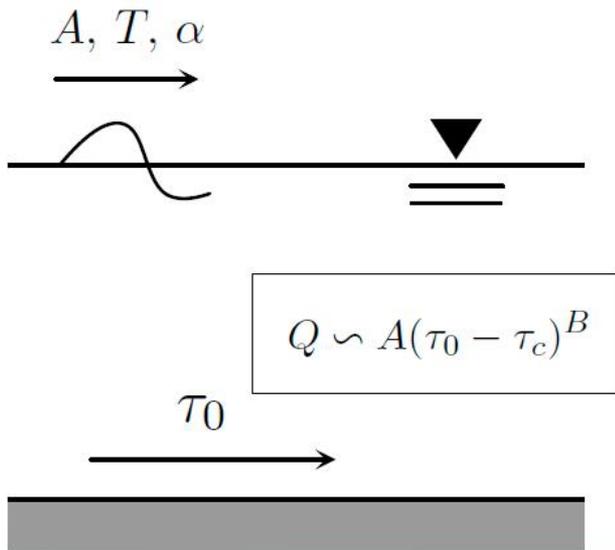
Masselink & Gehrels (2014). Coastal environments and global change.





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.

Washover y/o viento



FIGURA 1. Perspectiva de la duna de Valdevaqueros desde la carretera autonómica A-2325, que queda sepultada tras cada temporal de levante. Geo-Temas 14 ISSN 1576-5172



Colmatación bahías y estuarios



Extracción / regeneración

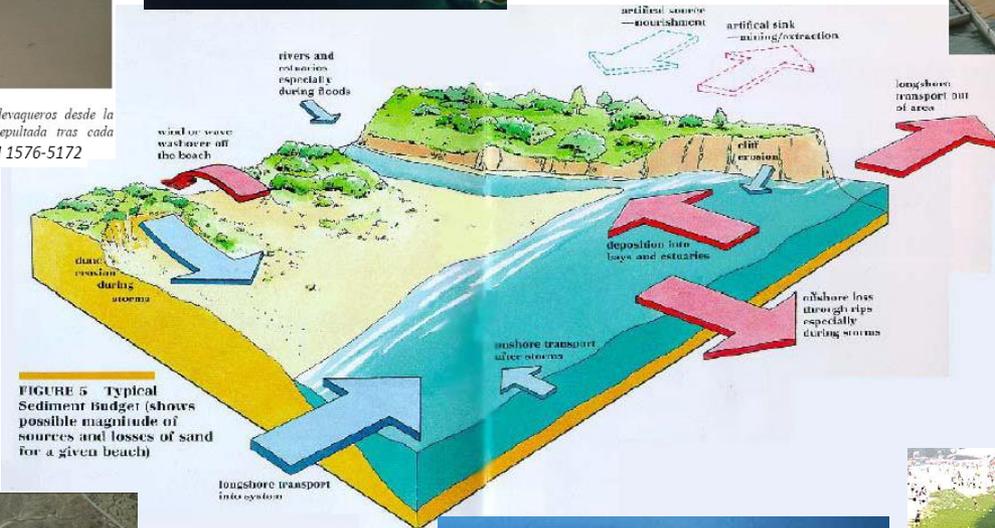
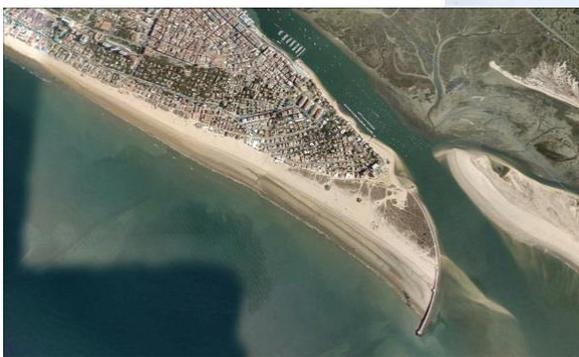


FIGURE 5 Typical Sediment Budget (shows possible magnitude of sources and losses of sand for a given beach)



Qingdao (China), Foto: EFE

Tipos de transporte:

Transversal (Tema 5.2)

Perpendicular a la línea de costa.

Longitudinal (Tema 5.3)

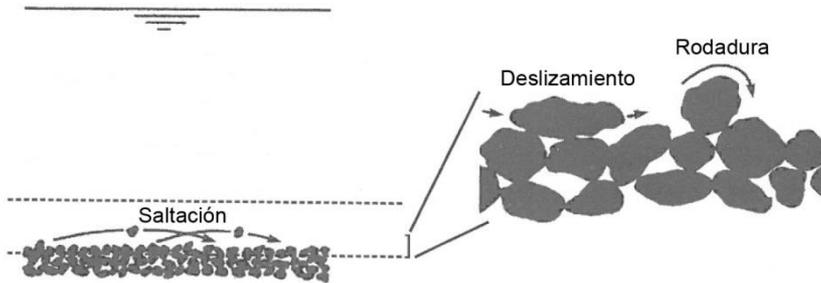
Paralelo a la línea de costa.



Modos de transporte:

Por fondo

Contacto con el lecho de forma continua o intermitente. Limitado por efecto gravitatorio: Rodadura, deslizamiento o saltación.



Importancia en playas de grava y mixtas

Modos de transporte:

Por fondo

Contacto con el lecho de forma continua o intermitente. Limitado por efecto gravitatorio: Rodadura, deslizamiento o saltación.

Importancia en playas de grava y mixtas

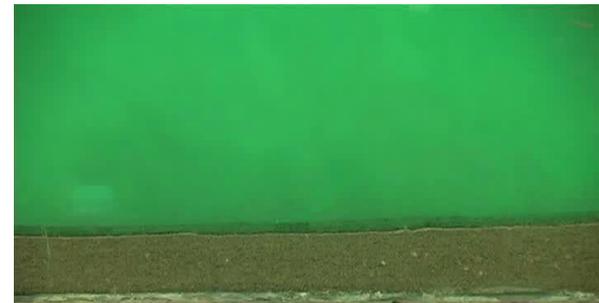
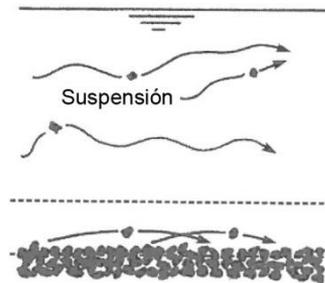
En suspensión

Partículas transportadas en el seno del fluido (sin contacto con el fondo) por efecto de las fuerzas turbulentas.

+

Carga de lavado

Partículas muy finas transportadas por el flujo de agua que no están presentes en el lecho.

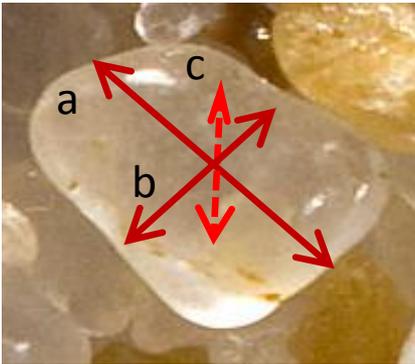


Importancia en playas de limos y arena

Tamaño de grano:

Variable clave en ingeniería de costas

Ejes principales: a, b, c



Escala phi:

$$\phi = -\log_2 D$$

Ampliamente usada, por ejemplo, en el factor de relleno de Dean en regeneraciones.

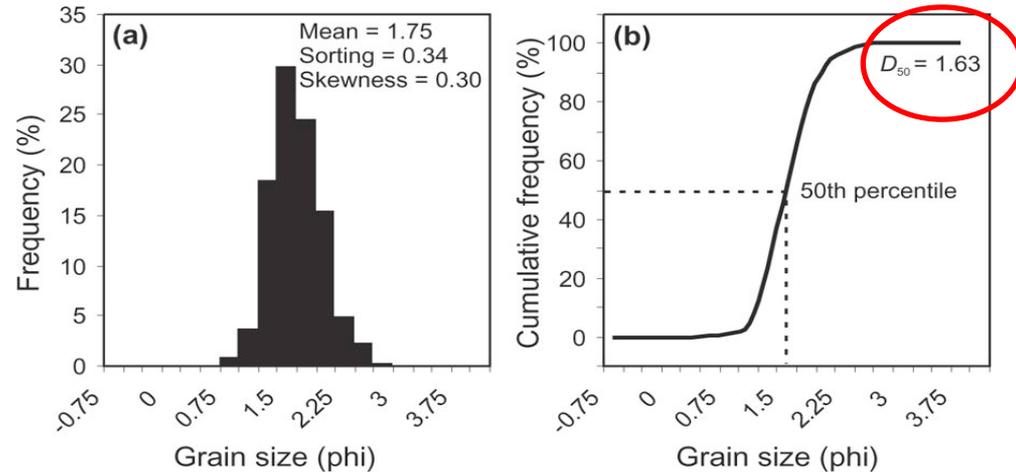
Clasificación Udden-Wentworth:

Basada en diámetro intermedio **b**

mm	ϕ	Class terms	
256	-8	Boulders	
128	-7	Cobbles	
64	-6	Pebbles	
32	-5		
16	-4		
8	-3		
4	-2	Granules	
2	-1		
1	0	Sand	
0.5	1		
0.25	2		
0.125	3		
0.062	4		
0.031	5	Silt	
0.016	6		
0.008	7		
0.004	8		
		Clay	

Diámetro característico (D50):

- Función de densidad de tamaños de grano.
- **D50** es la **mediana** de la distribución de diámetros → ¡No confundir con la **media**!
- A veces se usa el cociente **D85/D16** que da idea de la dispersión de diámetros: $D85/D16 < 2$ → dispersión pequeña, $D85/D16 > 16$ → rango amplio de tamaños.



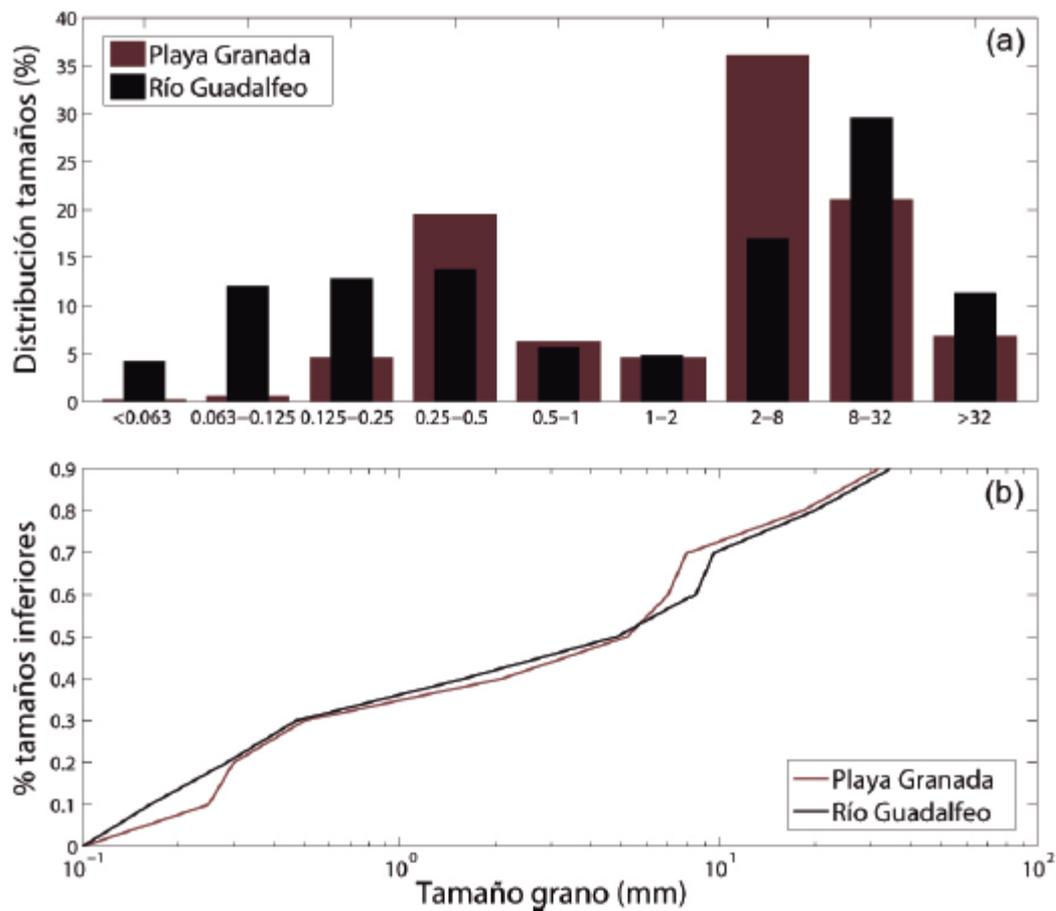
Fórmula empírica de Kamphuis para el transporte longitudinal de sedimentos en playas de arena:

$$Q_{Kamphuis} = 2.27 H_{sb}^2 T_p^{1.5} \tan^{0.75} \beta D_{50}^{-0.25} \sin^{0.6} (2\theta_b)$$

Fórmula empírica de Van Rijn para el transporte longitudinal de sedimentos en playas de arena o gravas:

$$Q_{t, mass} = 0.00018 \rho_s g^{0.5} (\tan \beta)^{0.4} (d_{50})^{-0.6} (H_{s, br})^{3.1} \sin(2\theta_{br})$$

Ejemplo: La cuenca del río Guadalfeo y Playa Granada



Cuenca de alta montaña



Importante contribución del transporte por fondo (gravedad)



Aportes fluviales condicionan naturaleza sedimentaria de la playa

Ejemplo: La cuenca del río Guadalfeo y Playa Granada



Presas Rules (2004) ha alterado esta dinámica:
Problemas de erosión en la costa

Otras propiedades:

Densidad del sedimento: $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ para cuarzo. Considerada en la mayor parte de formulaciones de transporte de sedimentos.

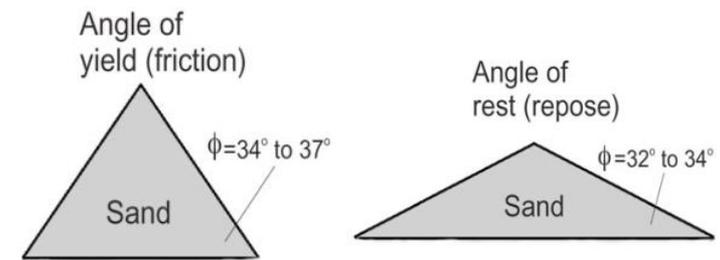
Densidad de la mezcla: $\rho_a = (\text{masa de la mezcla aire y/o agua + sedimento})/\text{volumen de la mezcla}$. También conocida como densidad aparente. Importante a la hora de estimar el volumen acumulado debido al transporte.

Porosidad: $n = \text{volumen de fluido intersticial}/\text{volumen de la mezcla}$ ($n \sim 0.3-0.4$).

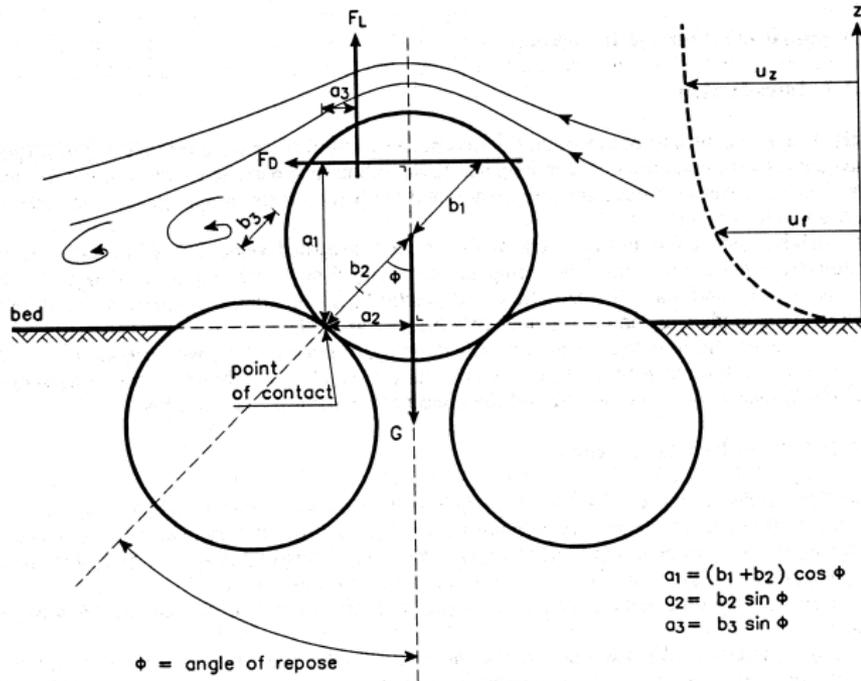
Cociente de huecos: volumen de fluido intersticial/volumen de los granos.

Ángulo de reposo: ángulo después de una avalancha (32-34° para arena) y **ángulo de fricción:** ángulo máximo que soportan los granos antes de empezar a rodar (34-37° para arena).

- El ángulo depende del tamaño, la rugosidad, la textura, la forma, etc.
- Tamaños distintos conducen a ángulos distintos.
- Aparentemente, granos más voluminosos tienen mayor número de elementos rugosos \rightarrow mayor fricción \rightarrow ángulos mayores.



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.

θ_{CR} depende del diámetro de la partícula.

$$\theta_{CR} = \frac{\tau_{CR}}{(\rho_s - \rho) g D}$$

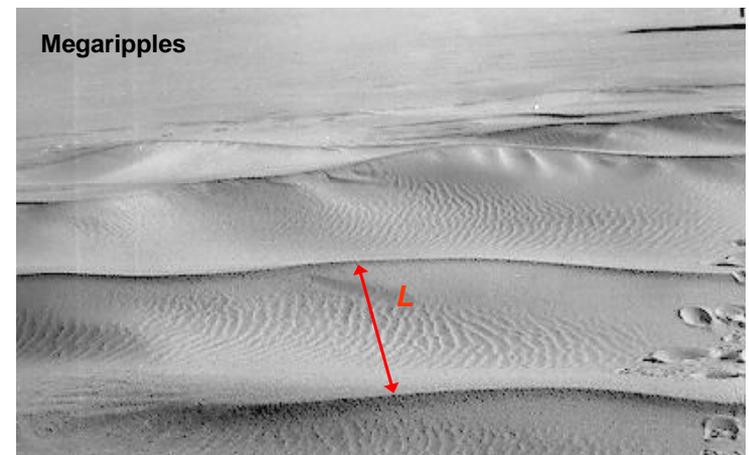
Al iniciarse el movimiento, el lecho se deforma. Se distinguen las siguientes morfologías:

Lecho plano: $\theta < \theta_{CR}$ y no se produce transporte de sedimentos.

Ripples: rizaduras con longitudes de onda del orden de 10 cm y amplitudes del orden de cm.

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.

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”).



Adopción de tasas vecinas: asignar el transporte de sedimentos conocido en un tramo de costa a otro que se encuentre relativamente cerca → Poco preciso.

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.

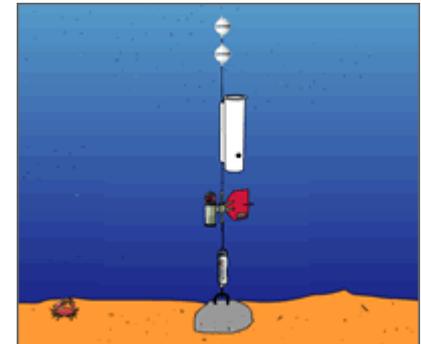
Medidas de campo: requieren instrumentación específica y mucha mano de obra. Las muestras se toman con una “trampa de sedimentos” que acumula el material transportado en una sección transversal.

Fórmulas de cálculo: relacionan parámetros del oleaje con el transporte de sedimentos.

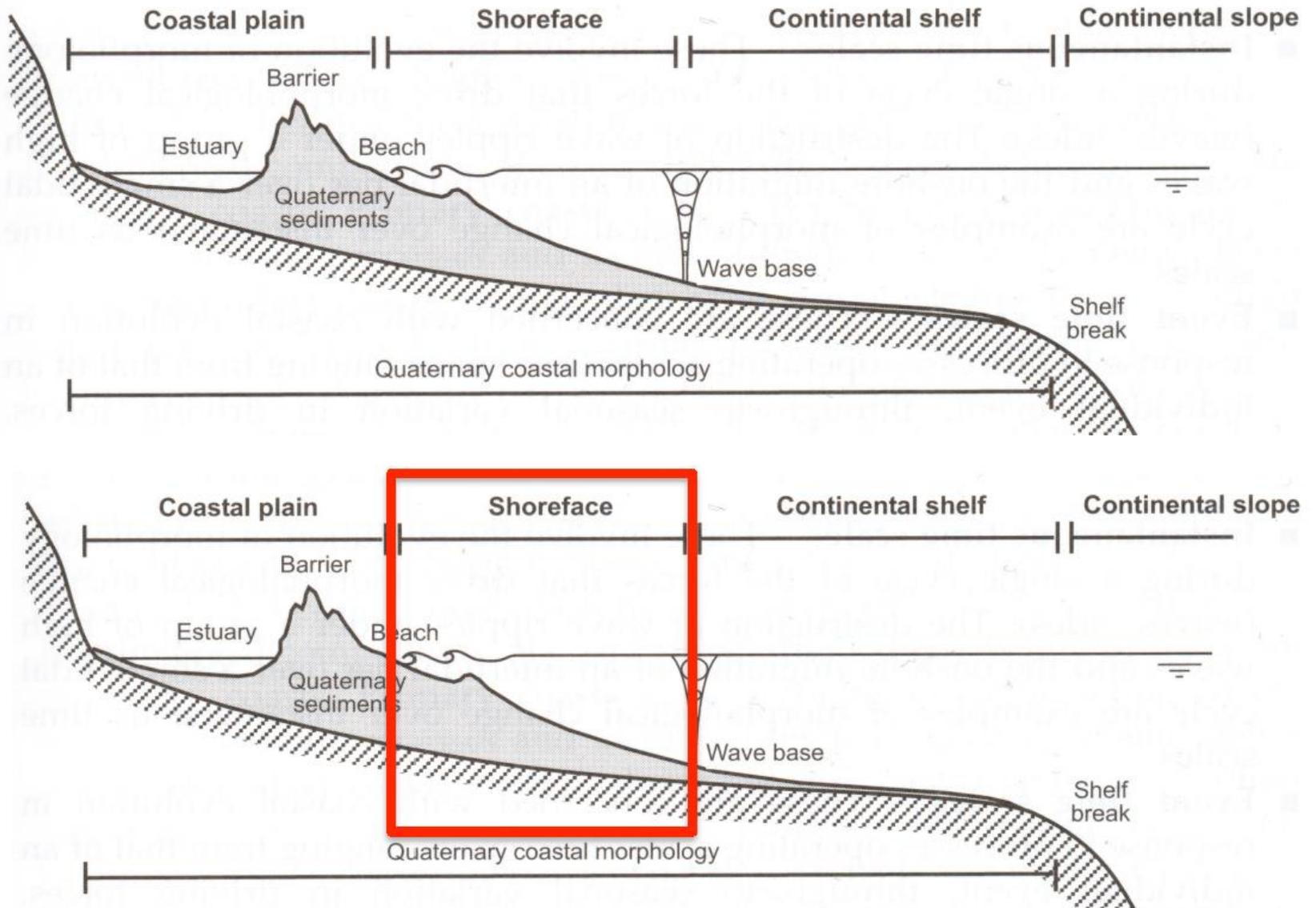
Batimetría:



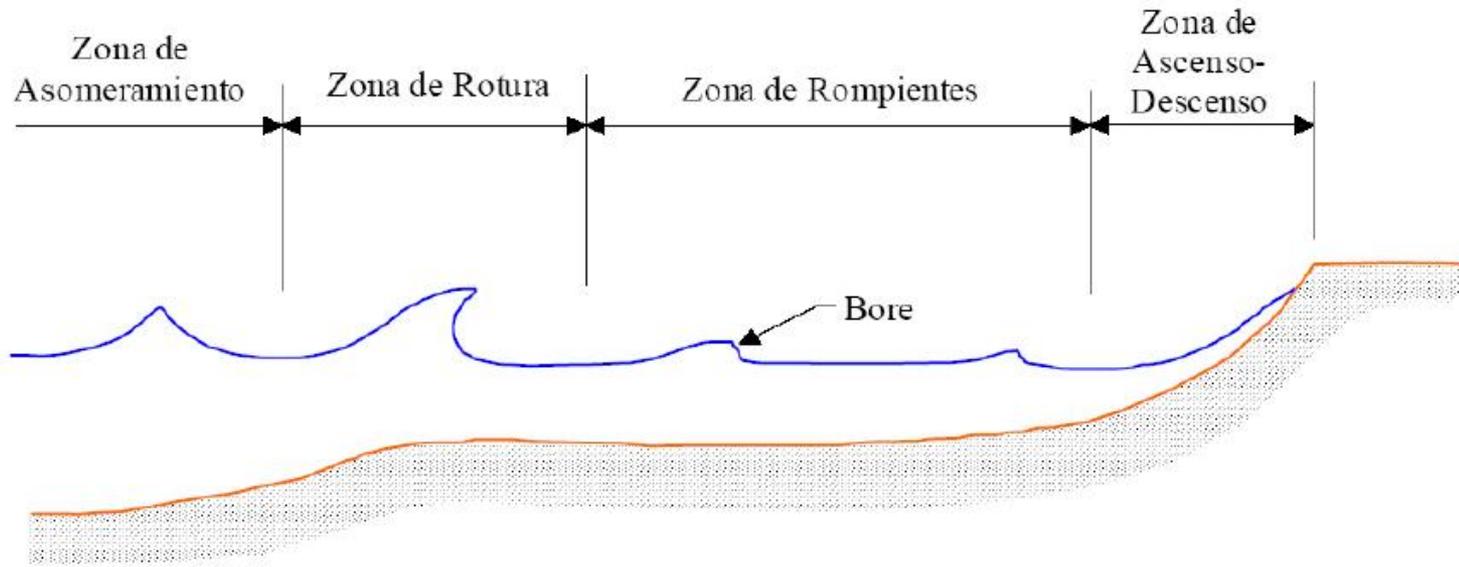
Trampas de sedimentos:



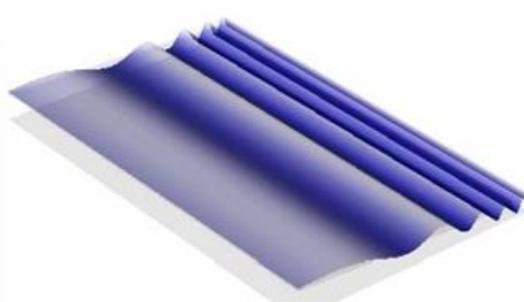
Recordatorio Tema 1: Costa Vs zona litoral (activa)



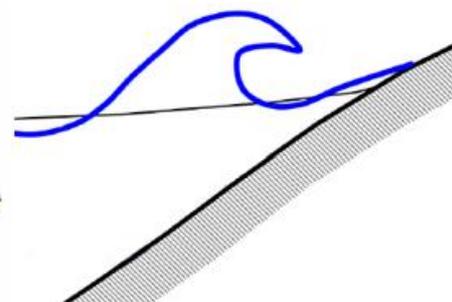
Recordatorio Tema 4: Propagación de oleaje



Aguas profundas



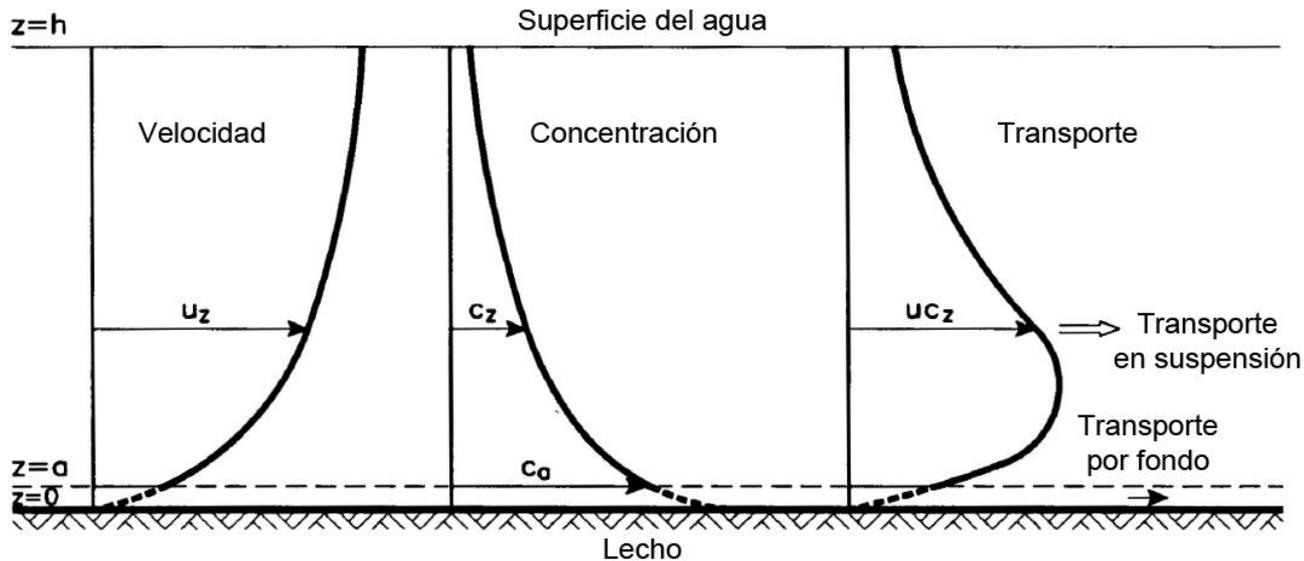
Asomeramiento



Rotura/Rompientes



Swash



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

Expresiones para estimar q_b y q_s

Empíricas (Ej: Meyer-Peter & Müller, 1948)

Basadas en enfoques energéticos (Ej: Bagnold, 1963)

¿Hacia donde se mueve el sedimento? Transporte **offshore** (hacia el mar) vs **onshore** (hacia tierra)

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

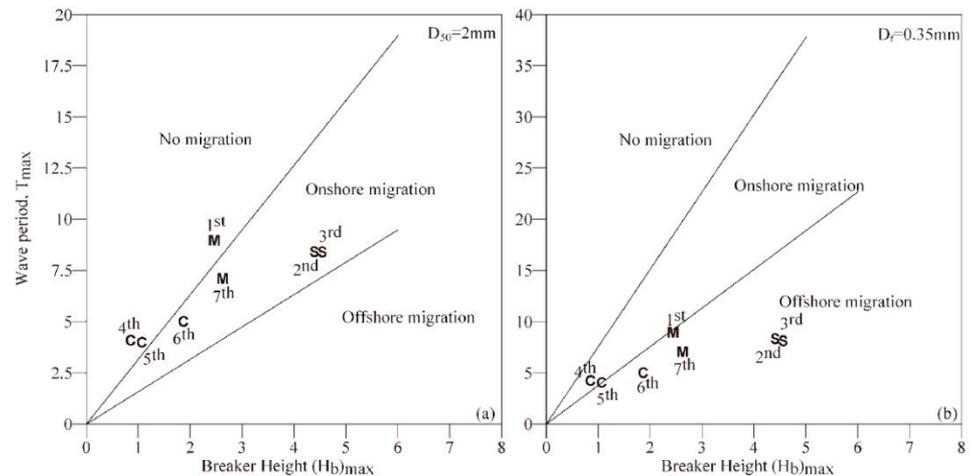
Si término izquierdo de la ecuación > derecho: transporte **offshore** - erosión

Si término izquierdo de la ecuación < derecho: transporte **onshore** - recuperación

Pero... ¡ojo!

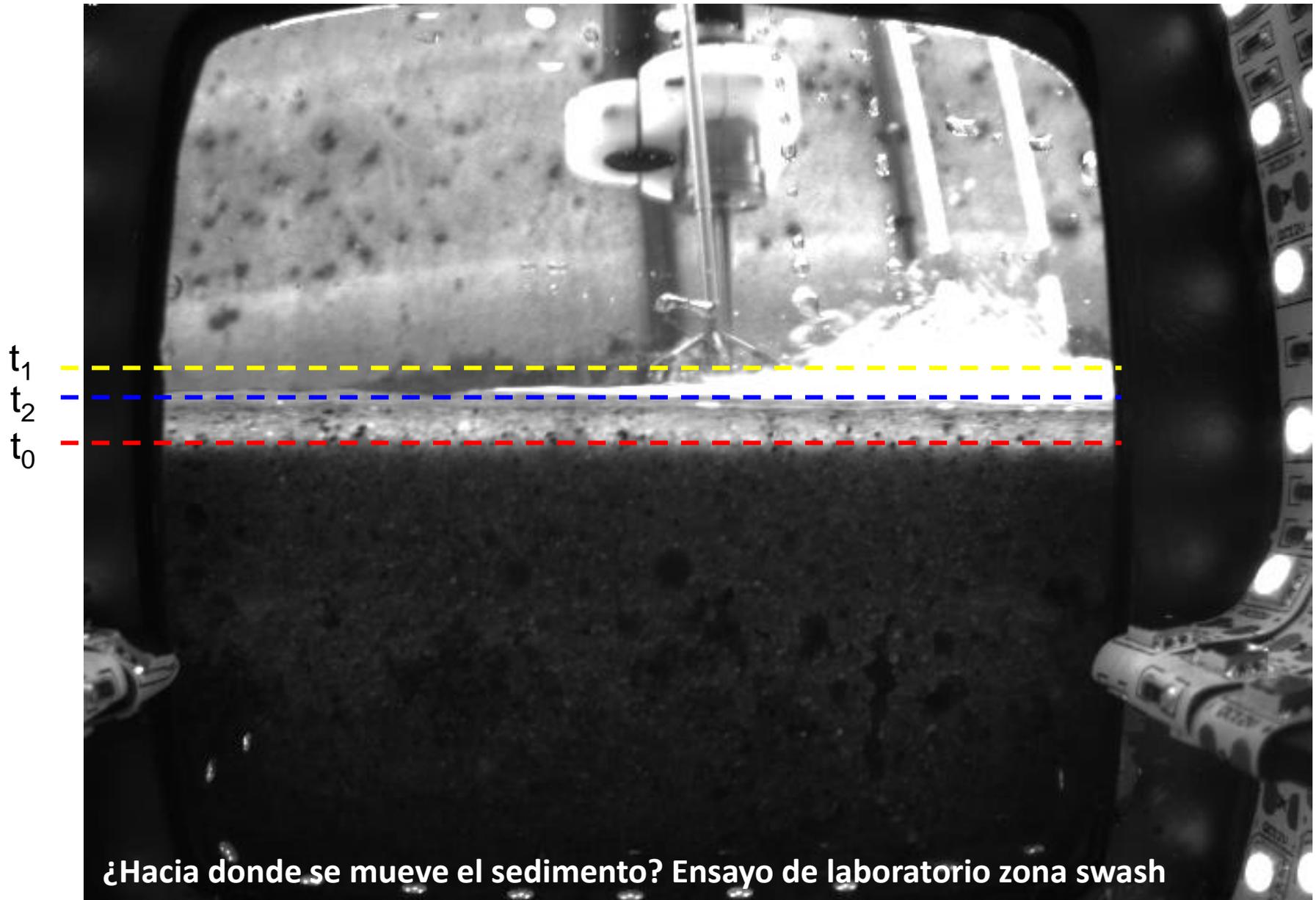
Es necesario un esfuerzo mínimo para que se produzca transporte.

Bramato et al. (2012)



Otros factores como marea (tema 3) y transporte longitudinal (tema 5.3) influyen en la erosión/recuperación de la playa.







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



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



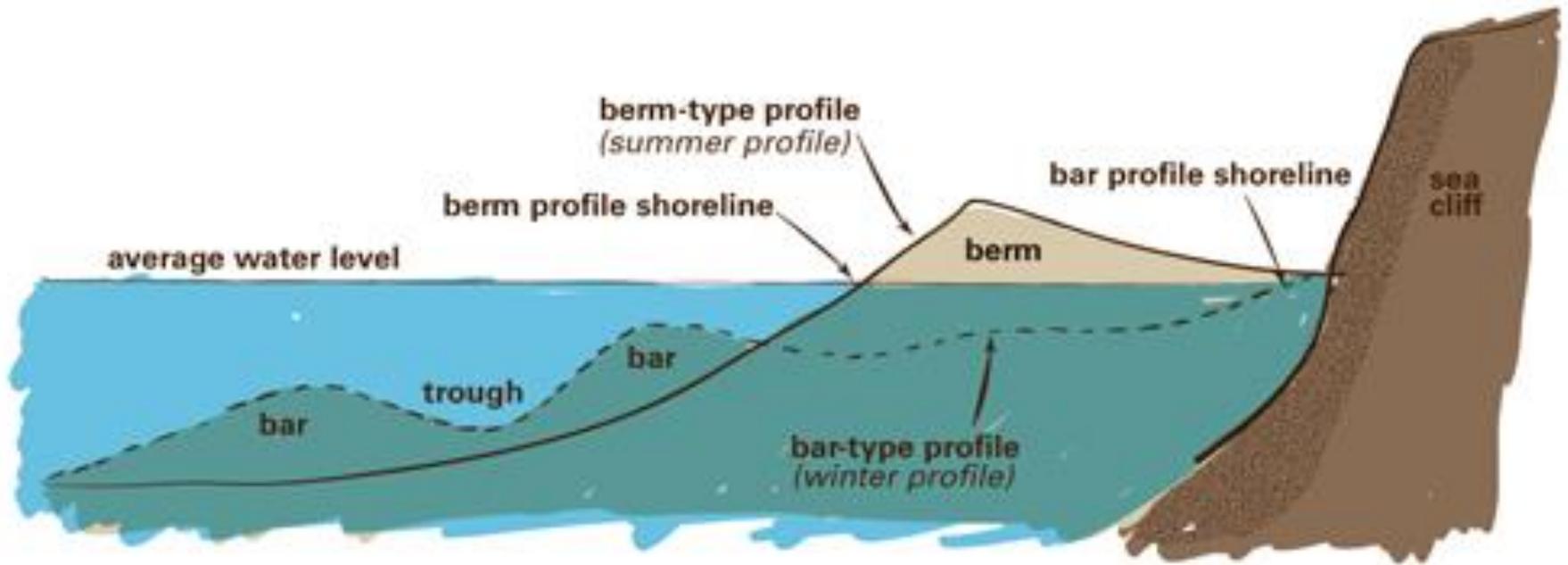
¿Hacia dónde se mueve el sedimento? Ciclo erosión-recuperación Playa de Carchuna



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

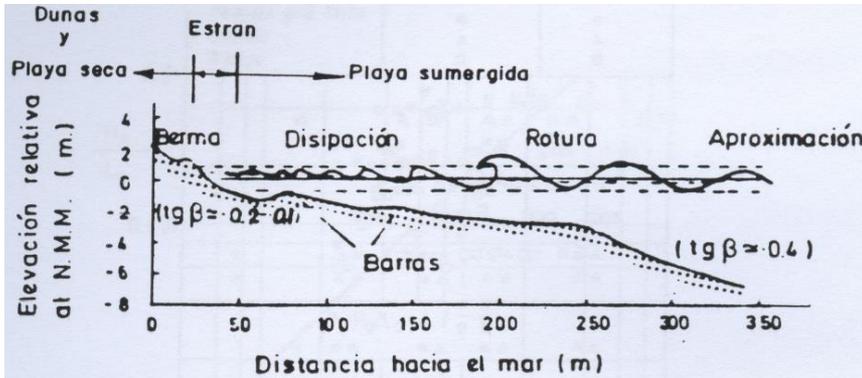
Ya que el perfil depende de la cantidad de energía que es capaz de disipar, su forma varía de invierno a verano. En general:

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



Pero...¡ojo! Respuesta morfodinámica del perfil depende del tipo de playa

Playa disipativa



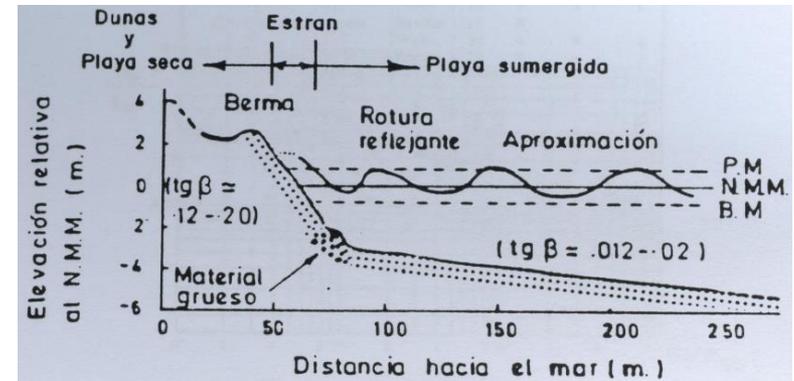
Pendiente intermareal suave

Rotura en decrestamiento (y voluta)

Extensa zona de rompientes

Frecuente en playas de arena

Playa reflejante



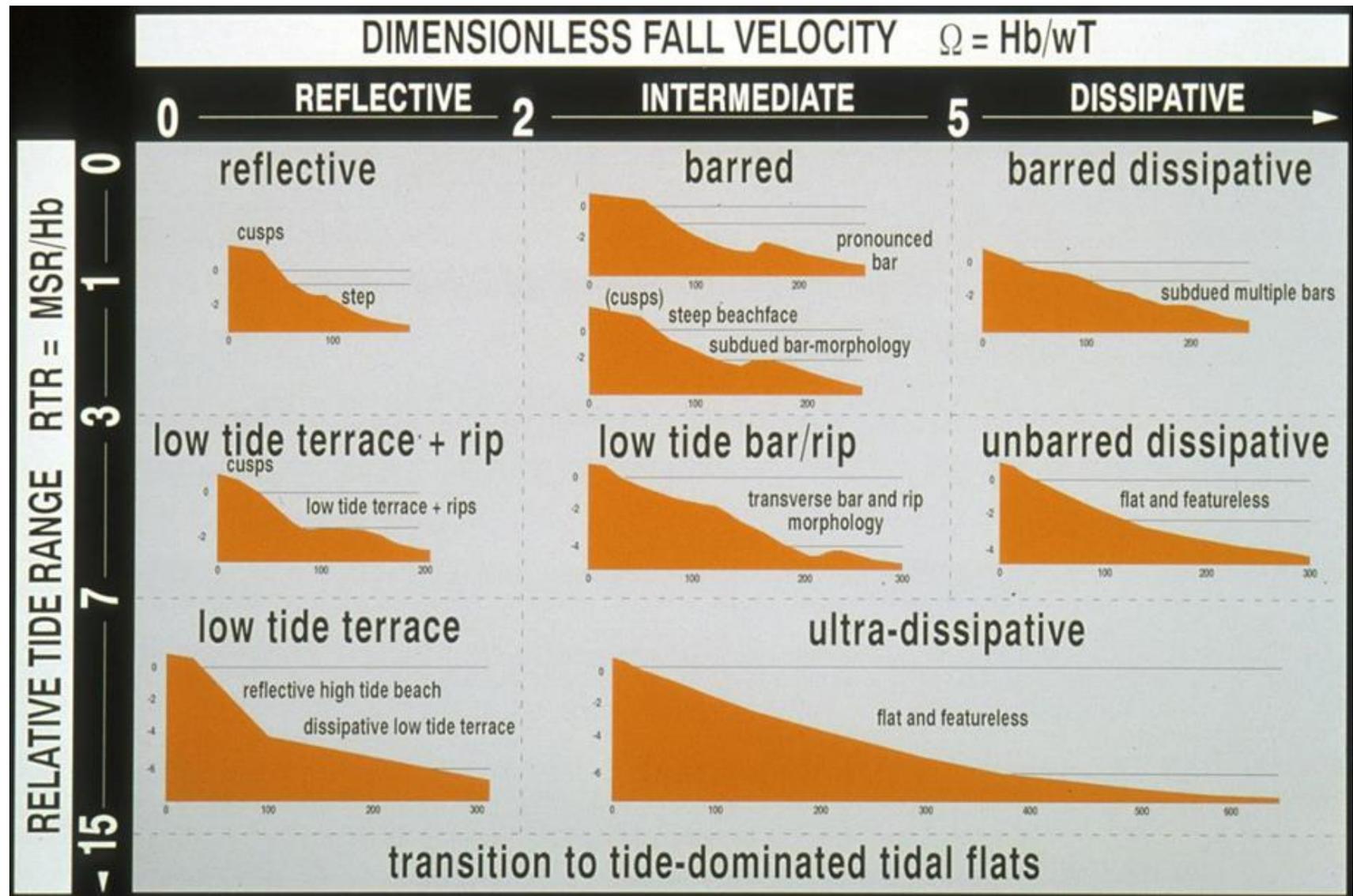
Pendiente intermareal abrupta

Rotura en voluta, colapso (y oscilación)

Estrecha zona de rompientes

Frecuente en playas de grava

Pero...¡ojo! Respuesta morfodinámica del perfil depende del tipo de playa



Perfil de equilibrio dinámico (perfil de Dean):

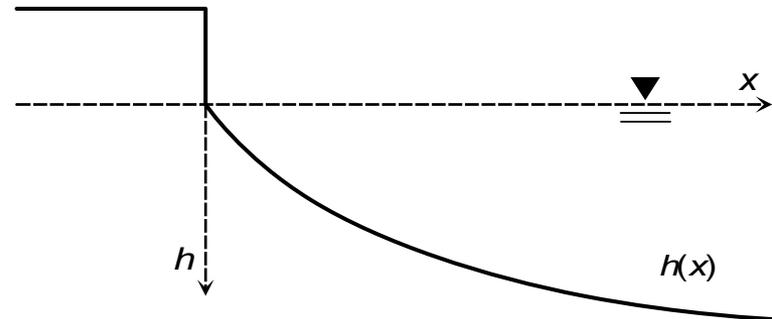
“Perfil medio que no se mueve en la dirección transversal”

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.

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.

Factor de escala: Dean & Dalrymple (2002). Coastal Processes with Engineering Applications.

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

d (mm)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
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

Otras expresiones para el perfil de equilibrio:

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

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



Profundidad de cierre:

El perfil de equilibrio 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.

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 $H_{e,t}$



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 a la acción de temporales.

Ventajas:

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

Inconvenientes:

- Vida útil reducida.

Es **importante** calcular bien:

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



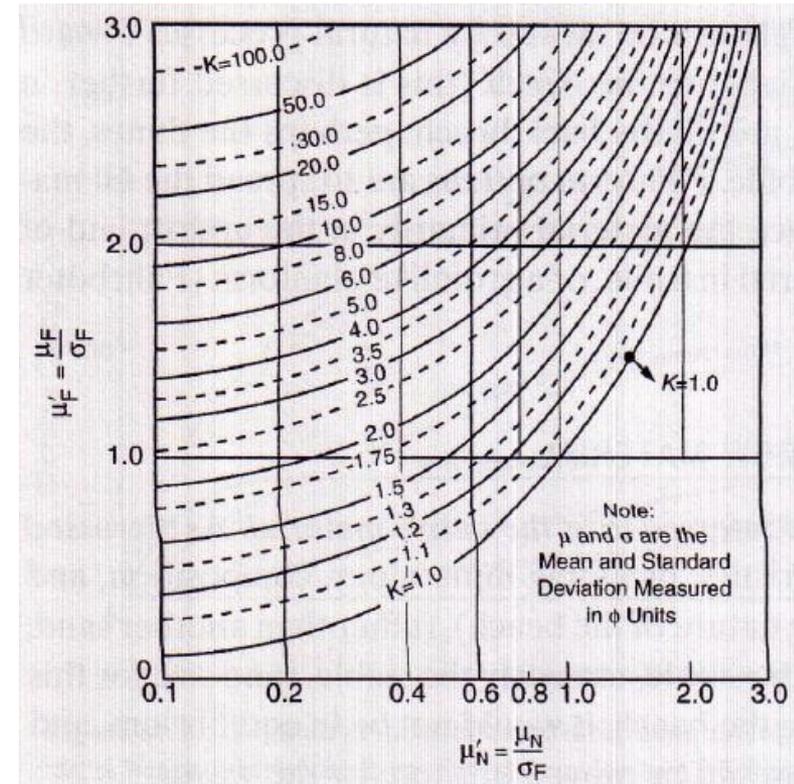
Para ello, se debe tener en cuenta:

- 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”.

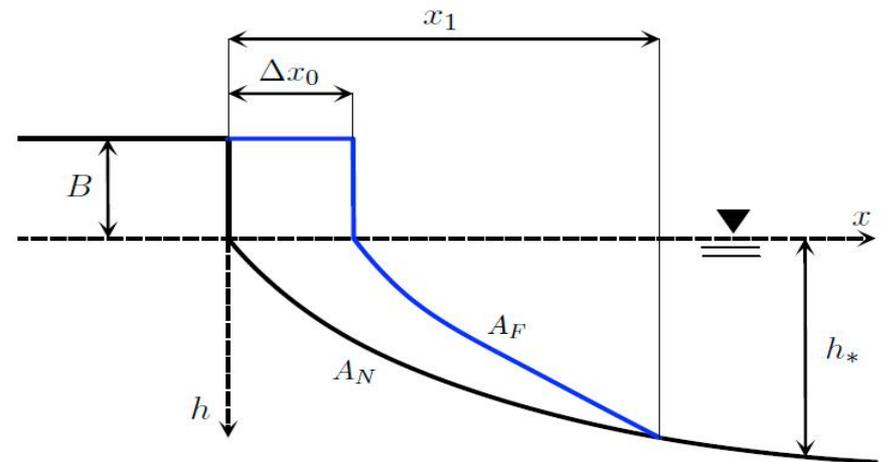
Su valor se obtiene a partir de ábacos y depende de las granulometrías del material de aportación y del nativo.

Según la relación entre A_N y A_F se distinguen **tres casos**.



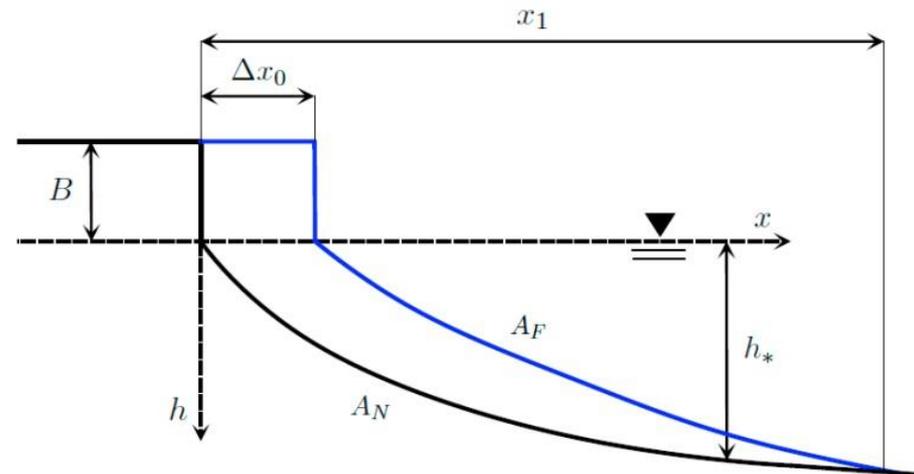
Perfil con intersección: $A_F > A_N$

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.



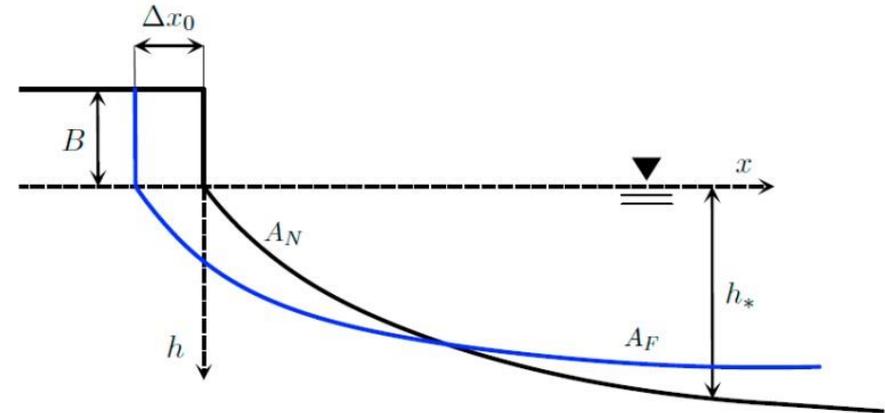
Perfil con intersección: $A_F \cong A_N$

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.



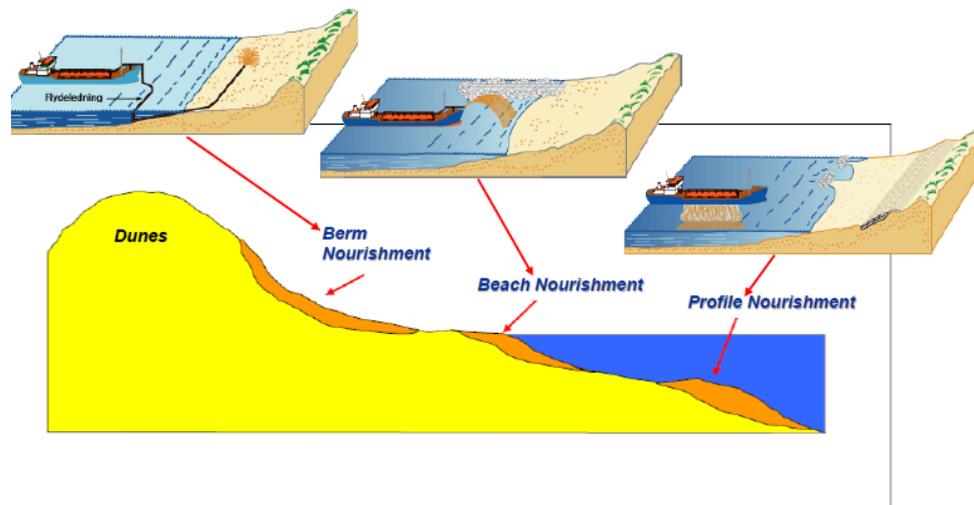
Perfil sumergido: $A_F < A_N$

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.



Importante:

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



Desaladora de Blanes:



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

Desaladora de Blanes:

Nuevo relleno: Aporte de 180000 m³ de sedimentos y 1.5 millones de euros.



Desaladora de Blanes:

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

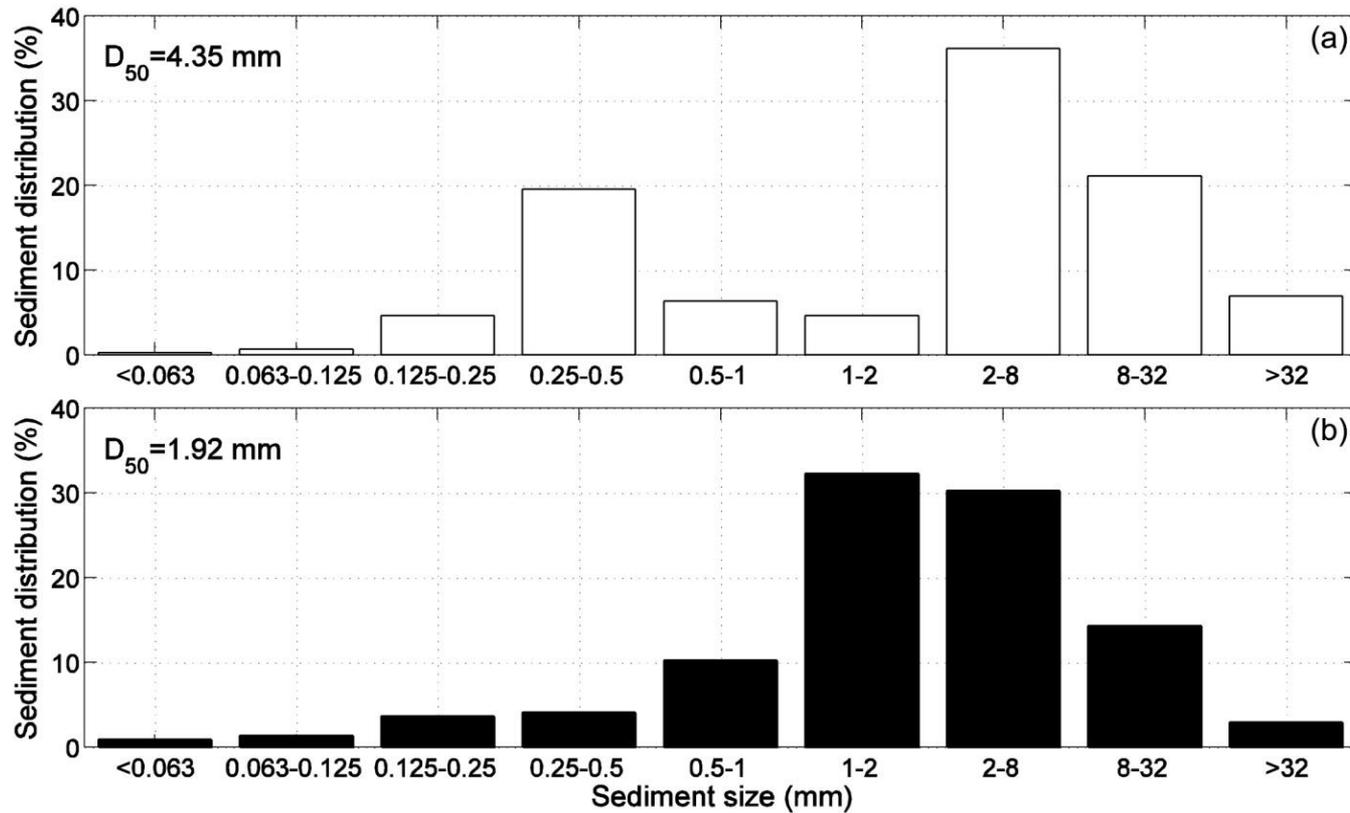
Mes	dia	Hs	Tp	θ
Nov	27	3.4	8.4	35
Dic	15	4.1	9.5	75

T_R (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



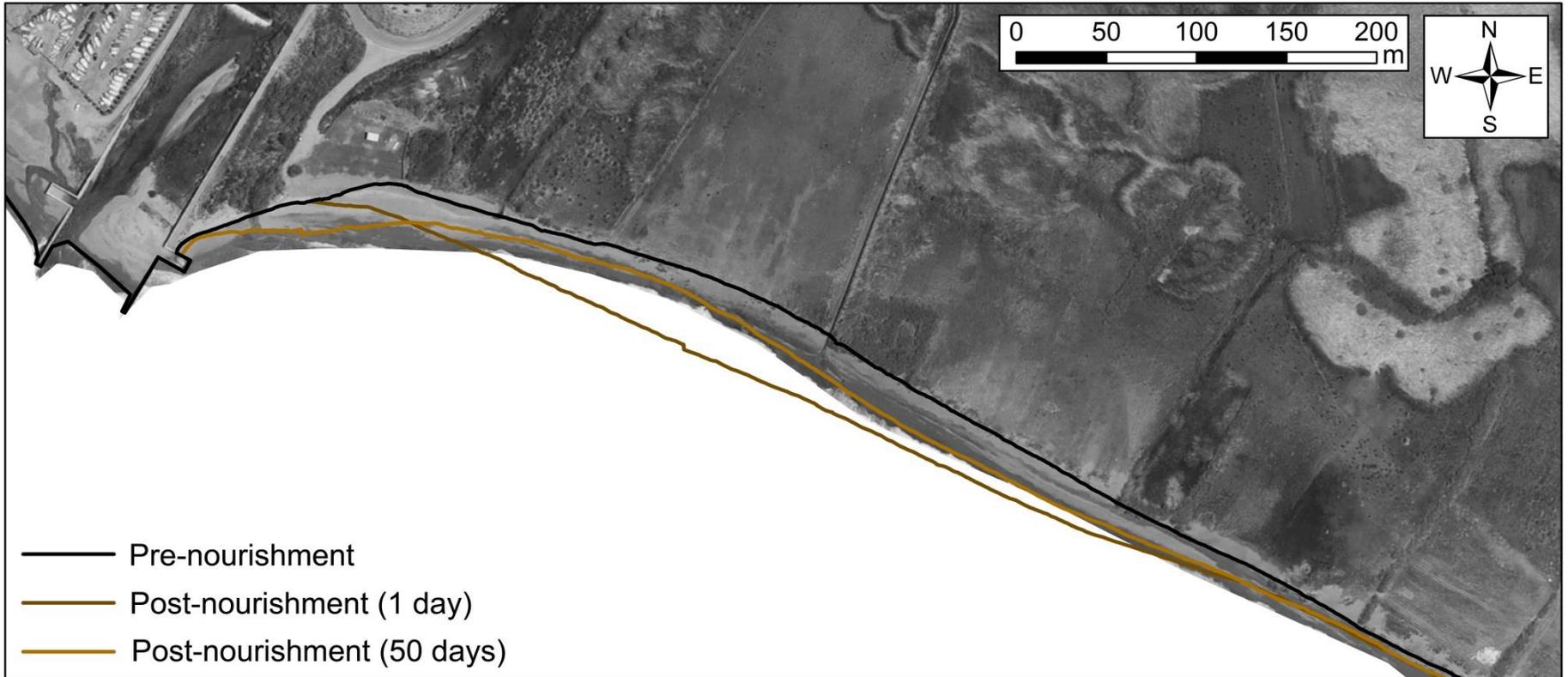
Playa Granada:

Distribución sedimentos relleno Vs nativos: $A_F < A_N$



Playa Granada:

Evolución en planta:



Playa Granada:

Evolución del perfil: 30/01/2015



Playa Granada:

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



S. L.  / HUELVA | Día 21/01/2014 - 11.29h

- ▶ La Asociación de Propietarios alerta de que la playa necesita urgentemente cinco millones de metros cúbicos de arena



C. GARCÍA

El agua, llegado a la zona de chiringuitos del paseo marítimo de Matalascañas



Andalucía

IDEAL

Carchuna pide ayuda a Costas ante la alarmante desaparición de su playa

Los aportes de arena, que siempre habían dado resultado, ya no sirven y desde el ministerio estudian la necesidad de colocar espigones

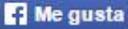
[...] «La echamos a principios de junio y para final de mes ya no había arena. El mar ha avanzado tanto que pelagra un chiringuito. En vez de arena, hay placas de piedra y así no se puede hacer uso de la playa», expuso la presidenta del Llano que manifestó que, apenas diez días después de la regeneración, un temporal de poniente se la llevó y volvieron a aflorar las rocas. Las zonas más críticas son las de la Chucha, Perla y camping, donde los veraneantes se han quejado de no poder disfrutar de la playa. Hasta que los técnicos no estudien qué ha pasado en la playa de Carchuna, Abarca baraja algunas hipótesis como la de que «hayan influido las obras de prologación del dique que se están ejecutando en el puerto de Motril» o que la construcción -a lo largo de los años- de espigones en Torrenueva y Castell de Ferro «hayan acorralado la playa y aquí ya no lleguen aportes de arena». [...]



En muchas zonas de la playa de Carchuna la arena ha desaparecido y ha dejado al descubierto

Las obras de regeneración de la playa de Costacabana comenzarán en abril

Así se lo comunicó Costas el domingo a los vecinos, en un encuentro en el que participó también el edil de Carlos Sánchez, que confirma que así será si todo va según lo previsto

 **SERGIO GONZÁLEZ HUESO** **ALMERÍA**  Me gusta  179
 @SGonzalezHueso 17 marzo 2015 03:56



Los vecinos de Costacabana encararon el siempre difícil lunes de la mejor manera posible. No es de extrañar, pues el domingo les confirmaron desde Costas que las obras de regeneración de la playa del barrio ya tienen fecha de inicio aproximada. Si todo «va según lo previsto» comenzarán en el mes de abril. De no ser así, en el peor de los escenarios las excavadoras siempre comenzarían a mover tierras antes de los meses de verano.



En la fotografía se observa el mal estado de la playa de Costacabana de Almería, sin arena.

IDEAL 





Hitos: ¿Delimitación del DPMT?



Forzamiento fluvial



¿Protección?

Resumen



Resumen

Tamaño, distribución y propiedades del sedimento: claves en la respuesta morfodinámica de la playa.

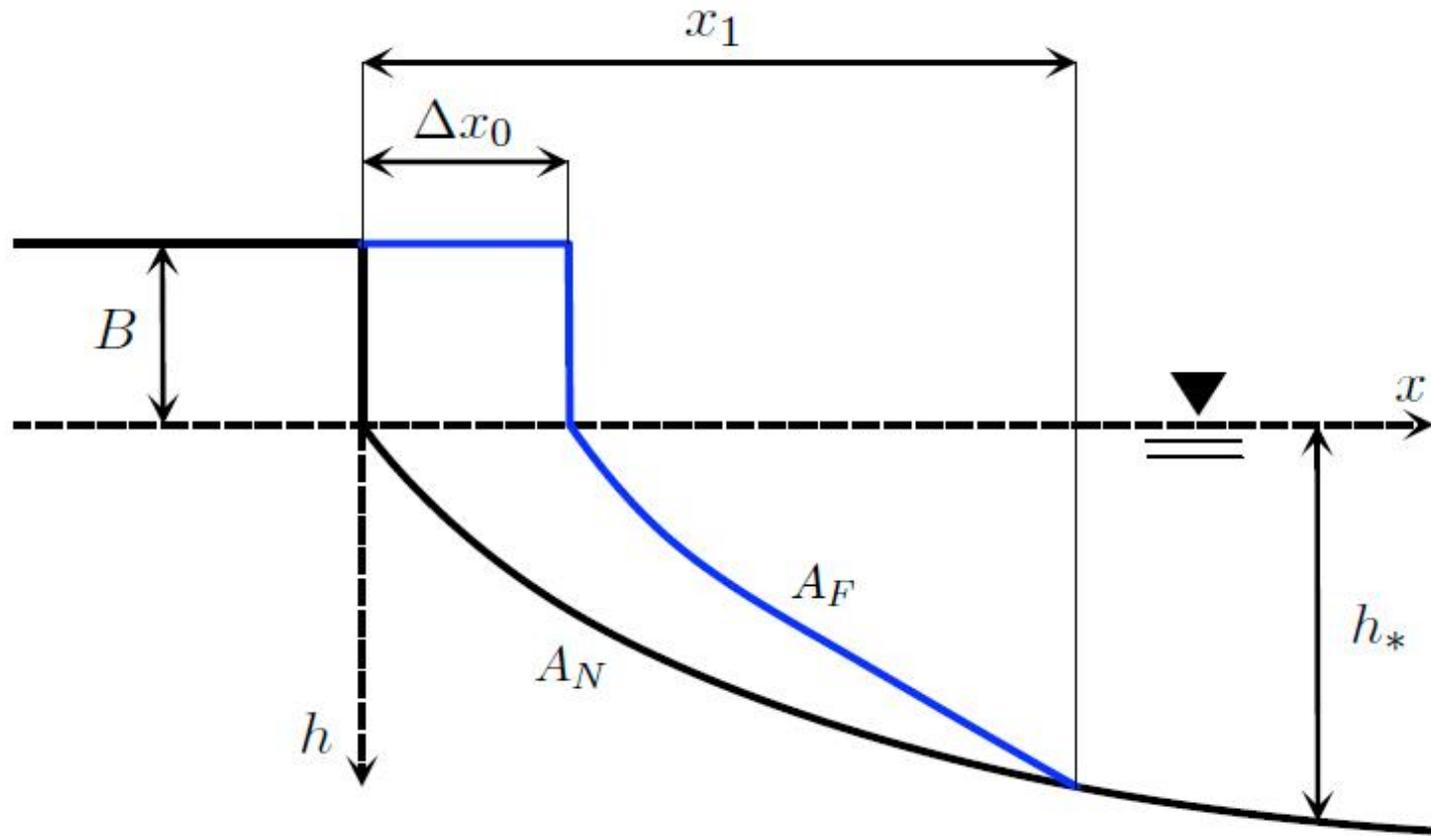
Dicha respuesta está condicionada, entre otros, por el transporte de sedimentos: fondo/suspensión, transversal/longitudinal, *onshore/offshore*.

Perfil de equilibrio y profundidad de cierre: herramientas útiles para tanteos previos en gestión de costas.

Estos conceptos deben ser tomados con precaución. En el diseño de estrategias de gestión se deben considerar otros aspectos: aportes fluviales, marea, escenarios de subida del nivel del mar, tasas de transporte longitudinal, condicionantes humanos (puertos, presas...), etc.

La costa es un sistema dinámico: importancia de revisar y actualizar el dominio público marítimo terrestre (incluyendo forzamiento fluvial en zonas próximas a desembocaduras).

En el proyecto de una regeneración artificial de sedimentos se pretende extender la playa seca una longitud igual a Δx_0 empleando un material de aportación tal que el factor de relleno (k) es igual a 1.5. Determinése el volumen de sedimentos necesario.



El próximo martes...

Modelo morfodinámico de respuesta del perfil de playa (XBeach-G)

