

MÉTODO F. PROCESOS HIDROLÓGICOS- HIDRODINÁMICOS

ÍNDICE

1. Objetivo	F1
2. Procedimiento metodológico	F1
2.1. Sistema playa-duna	F1
2.2. Sistema estuarino	F5
2.3. Acantilado y rasa litoral y Sistema rocoso costero	F10
3. Referencias de interés	F14

1 Objetivo

El presente método tiene por objeto presentar el sistema metodológico desarrollado para el cálculo del estado de los procesos hidrológicos-hidrodinámicos de los espacios litorales de la red Natura 2000 en Cantabria.

2 Procedimiento metodológico

La valoración del estado de los procesos hidrológicos-hidrodinámicos se realiza mediante un diagnóstico diferencial, en cada una de las unidades de valoración de los LICs litorales, en función de la tipología ecológica analizada, como respuesta a las particularidades propias de cada tipología.

En los siguientes epígrafes se describe el sistema de cálculo del estado de los procesos hidrológicos-hidrodinámicos en cada una de las tipologías ecológicas de los espacios acuáticos litorales de la red Natura 2000 en Cantabria.

2.1 Sistema playa-duna

La evaluación del estado de los procesos hidrológicos-hidrodinámicos dunares se realiza mediante la aplicación y valoración de dos indicadores:

- el **equilibrio sedimentario**
- la **conectividad eólica** dunar

A continuación se realiza la descripción de cada uno de estos indicadores, así como su método de evaluación para la definición del estado de los procesos hidrológicos-hidrodinámicos del sistema playa-duna.

Equilibrio sedimentario

Este indicador evalúa, de forma indirecta, las alteraciones del transporte sedimentario, mediante el análisis de la evolución de la superficie dunar vegetada. En este sentido, la superficie vegetada de un sistema playa-duna puede verse modificada como respuesta a alteraciones antrópicas de la dinámica sedimentaria, tales como: la compactación del terreno por el tránsito u ocupación del sistema, la limitación del transporte mareal debida a la existencia de espigones, la retención de sedimentos ocasionada por las presas fluviales, etc.

El cálculo de la variación de la superficie dunar vegetada se realiza mediante el análisis de la fotografía aérea de las unidades de valoración del sistema playa-duna, tomando como condición de referencia la situación del año 1985 (fecha más próxima a la entrada en vigor de la ley de costas³).

³ Ley 22/1988, de 28 de Julio, de Costas (MMA, 1988).

En cada una de las imágenes se realiza una transformación a escala de grises y se delimita y calcula la superficie ocupada por la duna vegetada (Figura F.1).

La definición del estado del equilibrio sedimentario en el sistema playa-duna se realiza a partir del cálculo de la variación de la superficie vegetada, mediante la aplicación de los criterios expuestos en la Tabla F.1.

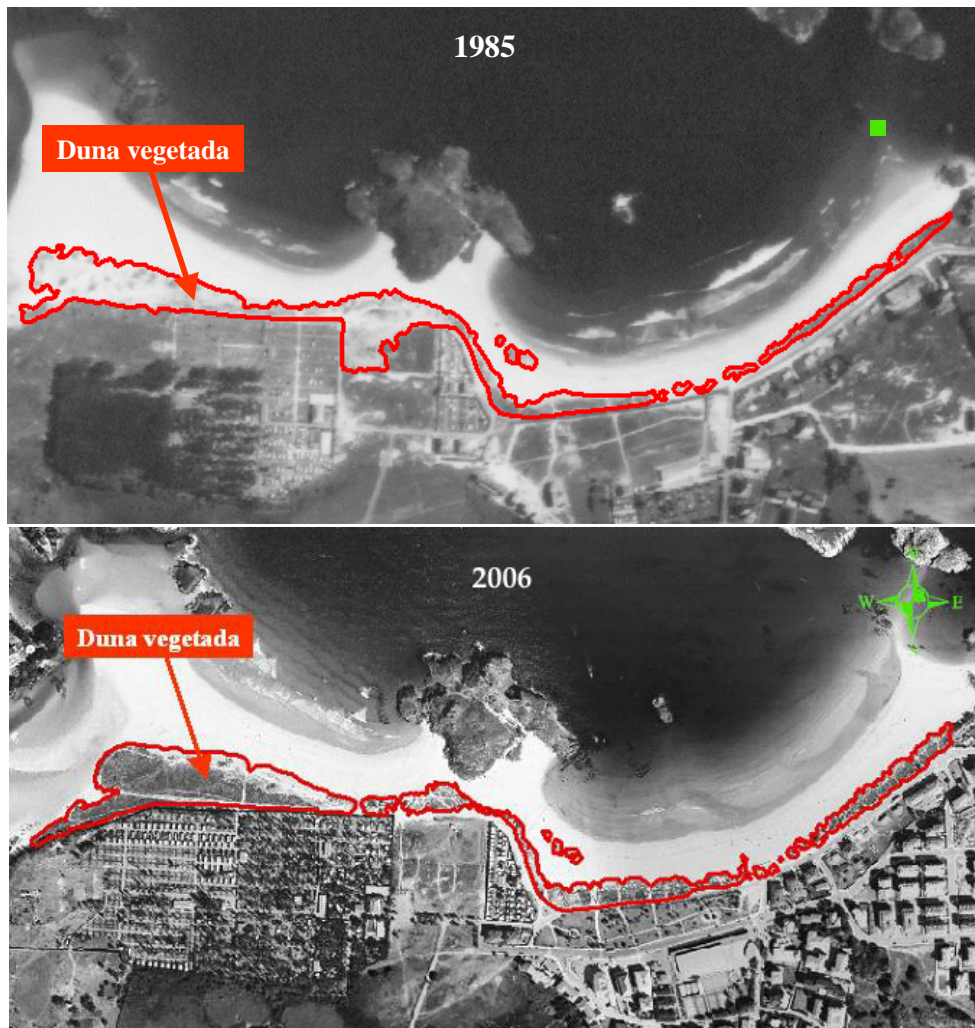


Figura F1. Ejemplo de la delimitación de la superficie de la duna vegetada, en un mismo sistema dunar, en los años 1985 y 2002.

Porcentaje de superficie de duna vegetada que se ha modificado con respecto a 1985	Equilibrio sedimentario
< 8 %	Bueno
8 - 15 %	Moderado
> 15 %	Malo

Tabla F1. Criterios de valoración de la variación de la superficie dunar.

Conectividad eólica

Mediante el cálculo de este indicador se valora el efecto de las infraestructuras antrópicas sobre el flujo de sedimentos de la duna primaria.

El procedimiento metodológico requiere de la consecución de cuatro actuaciones:

- 1) Identificar los elementos antrópicos que suponen un obstáculo para el transporte de los sedimentos de la duna primaria (edificios, muros, etc) y estimar su altura.
- 2) Delimitar el área de afección de cada uno de los elementos antrópicos, considerándose que la anchura del área de afección es igual a la anchura del obstáculo y su longitud se encuentra determinada por la siguiente formulación:

$$L = 15 \times h$$

donde "L" es la longitud del área de afección y "h" es la altura del obstáculo.

- 3) Proyectar el área de afección en sentido opuesto a la dirección predominante del viento en la zona de estudio, que generalmente es perpendicular a la línea de costa.
- 4) Delimitar la duna primaria con base en la cartografía de hábitats litorales de los LICs acuáticos de Cantabria, y estimar el porcentaje de duna primaria que está dentro del área de afección de los elementos antrópicos que obstaculizan el avance de los sedimentos dunares (Figura F.2).

Una vez calculada la superficie relativa (porcentaje) de duna primaria de la unidad de valoración que se localiza dentro del área de afección de alguno de los elementos antrópicos, la valoración del indicador se realiza mediante la aplicación de los criterios descritos en la Tabla F.2. Estos umbrales han sido establecidos a partir del grado de alteración natural de los sistemas dunares. Para ello, se han seleccionado sistemas dunares poco, o nada alterados por el hombre, en los que se ha estimado el porcentaje de interrupción natural del sistema dunar primario.

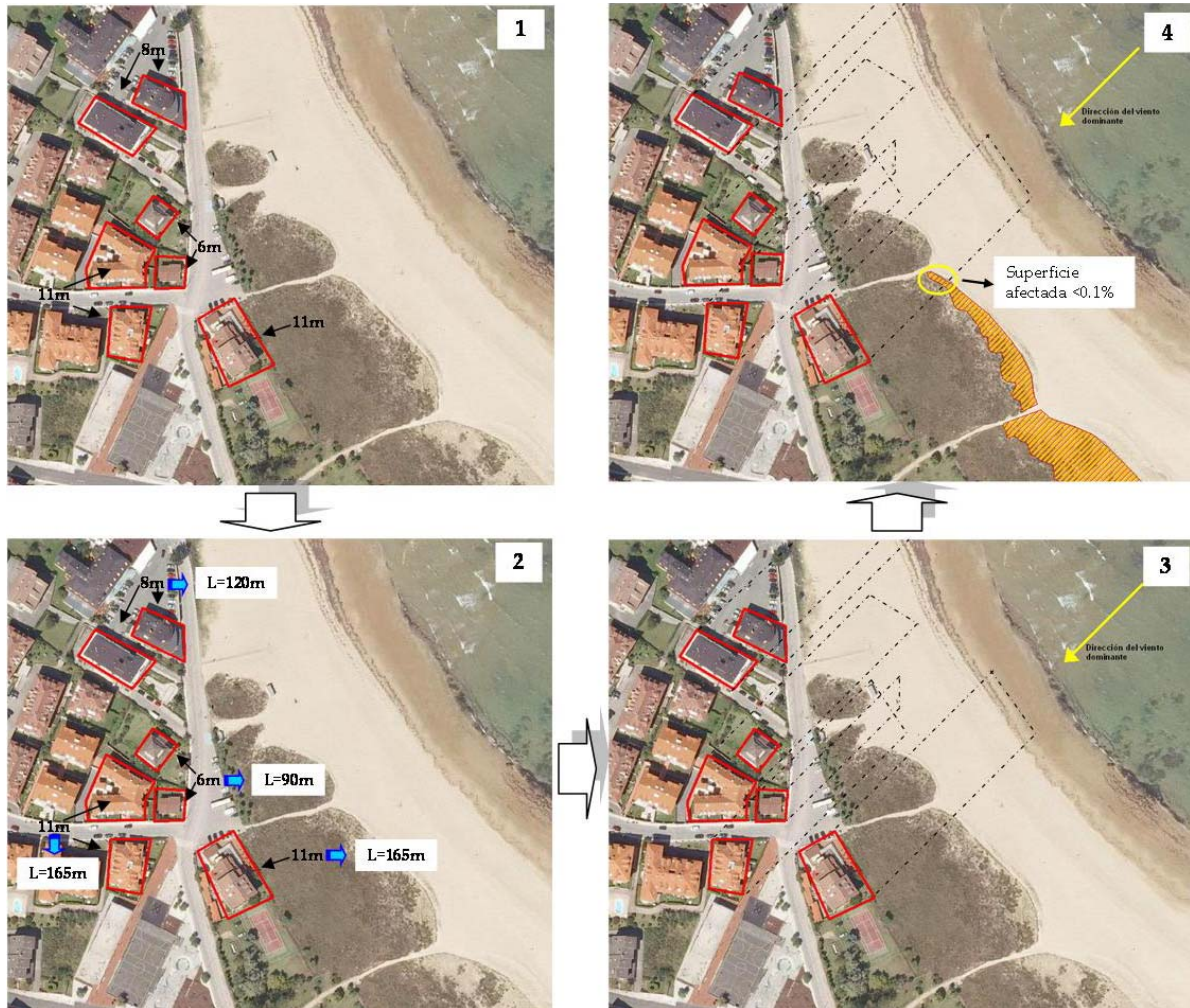


Figura F.2. Ejemplo del proceso de cálculo de la superficie relativa de una duna primaria localizada dentro de la zona en la que el flujo de sedimentos se ha visto alterado por la existencia de infraestructuras antrópicas.

Porcentaje de duna primaria afectada	Conectividad eólica
< 15 %	Favorable
15 – 30 %	Insuficiente
> 30 %	Desfavorable

Tabla F.2. Criterios de valoración de la alteración del flujo de sedimentos dunares.

2.2 Sistema estuarino

La evaluación del estado de los procesos hidrológicos-hidrodinámicos estuarinos se realiza mediante la aplicación y valoración de tres indicadores:

- los **aportes fluviales**
- la **dinámica mareal**
- la **conectividad** en el estuario

A continuación se describe cada uno de los indicadores, así como su método de cálculo.

Aportes fluviales

La dinámica fluvial, entendida como los aportes de caudales líquidos y sólidos al estuario, se encuentra relacionada con los procesos de mezcla y sedimentación del estuario. De este modo, una alteración en los regimenes de caudales fluviales, o aportes fluviales, supondría un desequilibrio de los procesos estuarinos.

El indicador *Aportes fluviales* se evalúa desde dos puntos de vista complementarios: los aportes de caudales líquidos y los aportes de caudales sólidos.

- I. La alteración de los aportes de caudales líquidos se evalúa mediante la estimación del porcentaje de caudal fluvial que es detraído y no es devuelto a la cuenca.

Para ello, se calcula el caudal del río en la situación teórica de referencia, es decir, sin detracciones, y el caudal del río teniendo en cuenta las detracciones que no son devueltas a la misma cuenca fluvial, y se aplican los umbrales descritos en la Tabla F.3.

Alteración del Caudal líquido fluvial (%)	Aporte fluvial líquido
< 10	Favorable
10 – 20	Insuficiente
> 20	Desfavorable

Tabla F.3. Umbrales para la evaluación del estado de los aportes de caudales líquidos fluviales al medio estuarino.

- II. La evaluación de la alteración del aporte de caudales sólidos fluviales al estuario se basa en el cálculo del porcentaje de la cuenca drenante fluvial que ve limitado su aporte de sólidos al estuario, debido a la existencia de presas y/o embalses que retengan los citados sedimentos. Para ello:

- 1) Se delimita la superficie de la cuenca drenante fluvial y se calcula su superficie.

- 2) Se localizan las presas y/o embalses existentes, y se estima la superficie de la cuenca situada aguas arriba de dichas presas, es decir, la superficie que tiene limitado su aporte de sólidos al estuario, por quedar éstos retenidos en dichas presas (Figura F.3).
- 3) Se calcula el porcentaje de la superficie que tiene limitado el aporte de sólidos, frente al total de la superficie drenante de la cuenca, y aplican los umbrales descritos en la Tabla F.4.

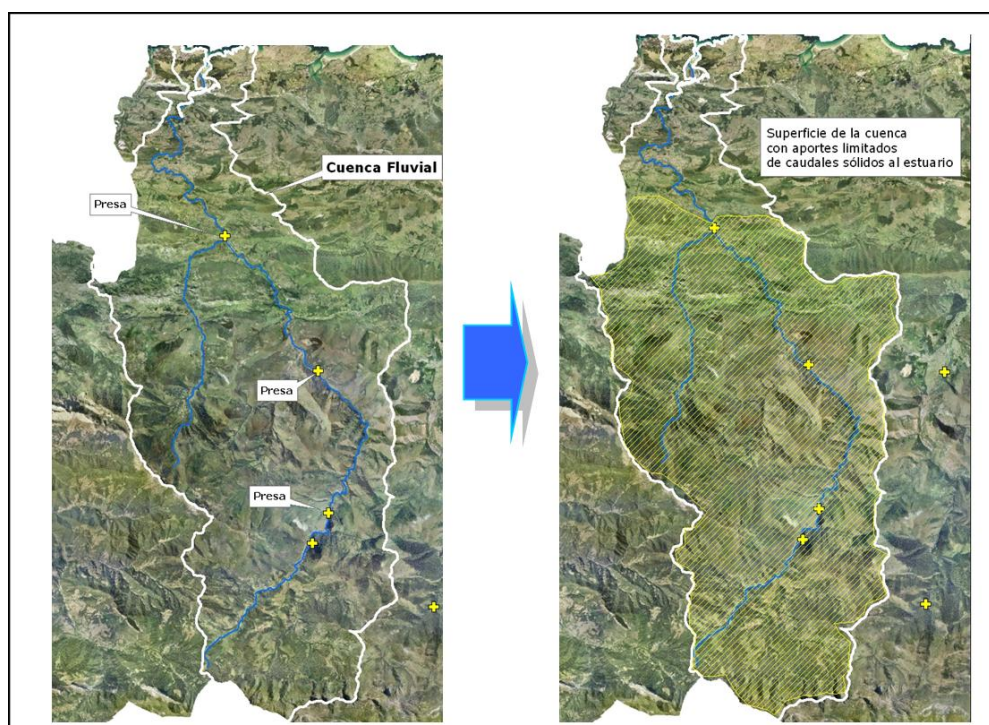


Figura F.3. Superficie de la cuenca de drenaje fluvial que tiene limitado el aporte de caudal sólido al estuario a causa de la presencia de presas y/o embalses.

Superficie de la cuenca fluvial con limitación de aporte de caudales sólidos al estuario (%)	Aporte fluvial sólido
< 10	Favorable
10 - 25	Insuficiente
> 25	Desfavorable

Tabla F.4. Umbrales para la evaluación del estado de los aportes de caudales sólidos fluviales al estuario.

Una vez calculado el estado del aporte líquido y del aporte sólido fluvial, la valoración del indicador *Aportes fluviales* queda determinada por la peor de las evaluaciones de los dos indicadores parciales.

Dinámica mareal

La dinámica mareal de los sistemas estuarinos condiciona el funcionamiento ecológico del sistema mediante su influencia en procesos físicos, tales como: los procesos de mezcla y sedimentación, el tiempo de residencia, la extensión de las áreas intermareales, etc (Galvan et al., 2010). De este modo, una alteración de las condiciones hidrodinámicas mareales podría resultar, por ejemplo, en un cambio en las superficies intermareales del medio y, por lo tanto, en la alteración de la distribución de los organismos estuarinos.

Un indicador de la dinámica mareal es el **prisma de marea** (PM), definido como el volumen de agua que entra en el estuario entre la bajamar y la pleamar, teniendo en cuenta la carrera de marea correspondiente a una marea viva mensual.

La evaluación del estado de la dinámica mareal se realiza mediante el cálculo de la desviación, o alteración, existente entre el prisma de marea actual y el prisma de marea teórico del estuario. Para ello, se define como estuario teórico el estuario sin presiones hidromorfológicas, tales como rellenos recuperables⁴, diques, espigones, molinos de marea, etc (Figura F.4).

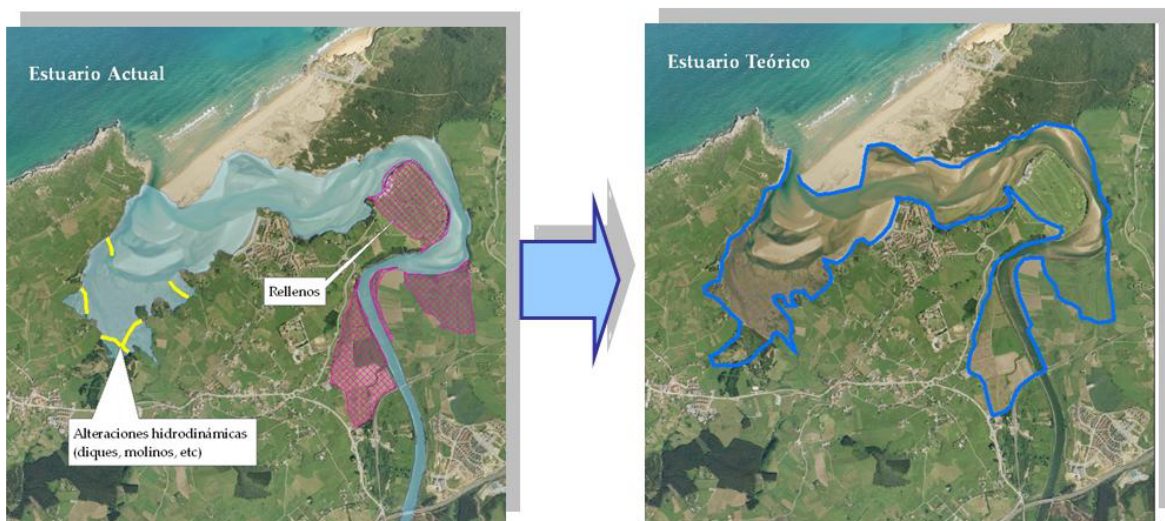


Figura F.4. Ejemplo de Estuario actual y Estuario teórico sin rellenos recuperables, diques, espigones, etc.

La valoración del estado de la *Dinámica mareal* se realiza aplicando los criterios expuestos en la Tabla F.5.

⁴ Se definen como rellenos recuperables aquellos rellenos antrópicos, no consolidados, situados dentro de los límites del Dominio Público Marítimo Terrestre, que presentan una cota inferior a los 5m, y cuya recuperación resulta socio-económicamente posible.

Porcentaje de alteración del Prisma de marea	Dinámica mareal
< 3	Favorable
3 - 5	Insuficiente
> 5	Desfavorable

Tabla F.5. Umbrales para la evaluación del estado de la Dinámica mareal estuarina.

Conectividad

La Conectividad del sistema estuarino se evalúa teniendo en cuenta las posibles alteraciones de los flujos de caudales estuarinos, tanto líquidos como sólidos.

- I. El flujo de caudales líquidos se analiza mediante la valoración de la alteración de la **conectividad longitudinal** estuarina. Esta se verá alterada por la presencia de elementos antrópicos, tales como puentes, diques, molinos de marea, etc., que constituyen un obstáculo para el paso del flujo mareal. Como consecuencia de la existencia de dichas estructuras antrópicas se crea una zona, denominada área de afección, en la cual se ve limitada la carrera de marea con respecto a zonas adyacentes, que no están sometidas a dicha presión (Figura F.5).

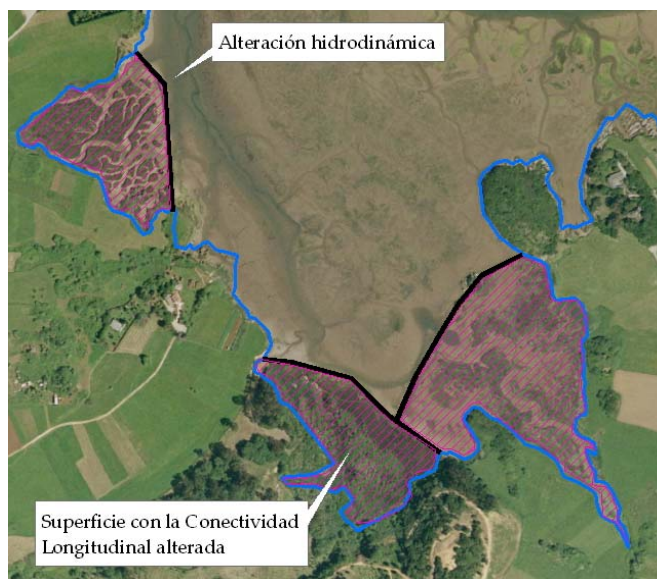


Figura F.5. Superficie del estuario que presenta el flujo de caudal líquido alterado debido a alteraciones hidrodinámicas.

La evaluación del estado de la conectividad longitudinal se realiza con base en el cálculo del porcentaje de la superficie total del estuario que presenta una limitación antrópica al paso del flujo mareal. Una vez calculada dicha superficie relativa, se aplican los criterios expuestos en la Tabla F.6.

Área del estuario con el flujo del caudal líquido alterado (%)	Conectividad longitudinal
< 10	Favorable
10 - 25	Insuficiente
>25	Desfavorable

Tabla F.6. Criterios de valoración de la Conectividad longitudinal del sistema estuarino.

II. El transporte de sedimentos en el estuario es evaluado como la alteración de la **conectividad** estuarina **sedimentaria**. Esta se ve modificada por la presencia de barreras antrópicas (diques, molinos de marea, etc.) y/o detracciones de material de fondo (dragados), que limitan el aporte de material sólido procedente de la cuenca de drenaje.

La evaluación de este indicador se realiza mediante la estimación del porcentaje de superficie de la cuenca drenante del estuario que ve limitado su aporte de sólidos hacia el estuario (Figura F.6). Para ello:

- 1) Se delimita y estima la superficie de la cuenca de drenaje del estuario (sin incluir la cuenca de drenaje fluvial, ya evaluada mediante el indicador *Aportes fluviales*).
- 2) Se identifican los elementos que constituyen una barrera para el flujo del caudal sólido (p.e. diques, molinos de marea, etc.), y se calcula la superficie que tiene limitado su aporte de sólidos hacia el estuario (Figura F.6).
- 3) Se estima el porcentaje que constituye dicha superficie con respecto al área total de la cuenca de drenaje del estuario, y se aplican los criterios expuestos en la Tabla F.7.

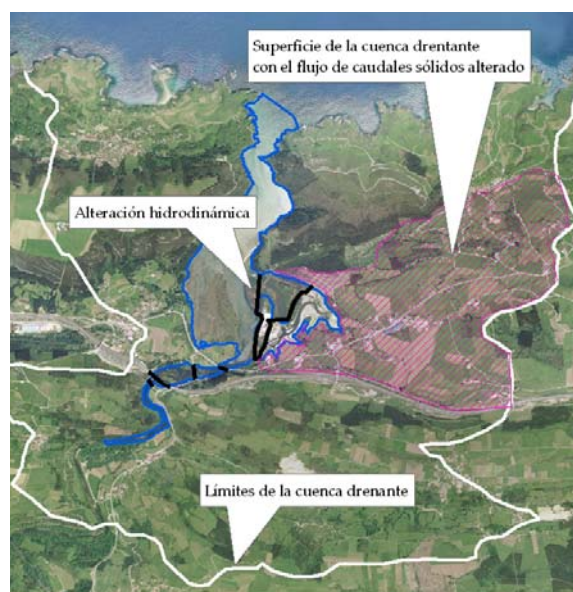


Figura F.6. Superficie de la cuenca de drenaje que tiene limitado el aporte de caudal sólido al estuario debido a alteraciones hidrodinámicas.

Área de la cuenca de drenaje estuarina que tiene limitado el aporte de sólidos al estuario	Conectividad sedimentaria
<10%	Favorable
10-25%	Insuficiente
>25%	Desfavorable

Tabla F.7. Criterios de valoración de la Conectividad sedimentaria del sistema estuarino.

En el caso de que existan dragados periódicos en el estuario, de modo que los flujos de sedimentos estuarinos se vean alterados, la evaluación final del indicador de la conectividad sedimentaria será penalizada en un grado, tal y como se muestra en la Figura F.7.

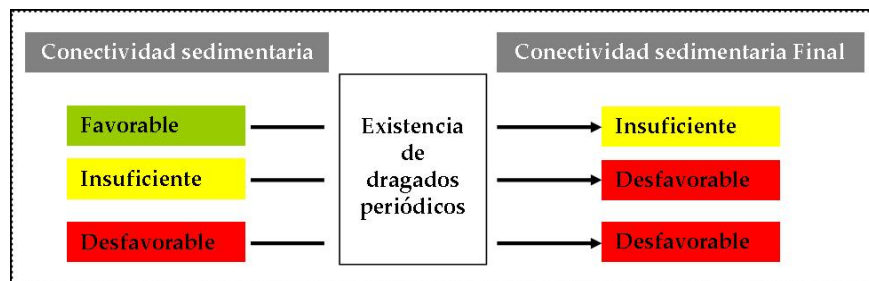


Figura F.7. Evaluación final de la conectividad sedimentaria en estuario con dragados periódicos.

Una vez evaluados los indicadores de conectividad longitudinal y conectividad sedimentaria en el estuario, la valoración final del indicador *Conectividad* se encuentra determinada por la peor de las valoraciones de los dos indicadores parciales.

2.3 Acantilado y rasa litoral y Sistema rocoso costero

La evaluación del estado de los procesos hidrológicos-hidrodinámicos, en las unidades de valoración de las tipologías ecológicas Acantilado y rasa litoral y Sistema rocoso costero, se realiza con base en el análisis de la alteración de la hidrodinámica de la costa.

Con este objeto, se realiza la evaluación de la alteración del grado de exposición de la costa al oleaje.

Grado de exposición de la costa al oleaje

El grado de exposición de la costa al oleaje resulta de la combinación de información sobre los oleajes dominantes y la orientación de la costa (GIOC, 2006).

A continuación se describe el sistema de cálculo de estos componentes, así como su integración para la definición del grado de exposición de la costa.

Determinación de la orientación de la costa

Para el cálculo de la **orientación** de la costa al oleaje, se divide la misma en tramos de 1 kilómetro de longitud. Para cada uno de los tramos se establece su línea de orientación, es decir, la línea recta que une los dos nodos o extremos del tramo. La perpendicular a la línea de orientación (perpendicular que se traza siguiendo la dirección desde la costa hacia el mar) presenta una orientación que es la que le corresponde al tramo de costa (Figura F.8).



Figura F.8. Estimación de la orientación de un tramo de costa.

Definición de los oleajes dominantes

En relación a los **oleajes dominantes**, con base en la información recogida en la ROM 0.3. (Puertos del Estado, 2003) se obtiene la rosa de oleaje, a partir de la cual se determina la dirección predominante (en profundidades indefinidas) de los mayores oleajes que afectan a los diferentes tramos costeros (Figura F.9a).

Tomando como base la citada rosa, ésta se divide en tres partes o secciones iguales, de 120° cada uno, de forma que cada parte se corresponde con un nivel de exposición alto, medio o bajo (Figura F.9b).

La sección a la que se le asigna el grado de exposición alto es la definida por el rango que va desde 60° a la derecha hasta 60° a la izquierda del eje que determina la dirección predominante de los mayores oleajes en el Cantábrico (línea discontinua en la Figura F.2b). De este modo, los tramos de costa con una orientación comprendida dentro de esta sección son zonas con un alto grado de exposición, ya que se encuentran orientadas hacia los oleajes más intensos.

Las secciones correspondientes a los niveles de exposición medio y bajo se establecen dividiendo a la mitad los 240° de la rosa de oleaje que no están incluidos en la sección de exposición alta. La sección a la cual se asigna un grado de exposición bajo es aquella que, con base en la rosa del oleaje, incluye dentro de su rango los oleajes de menor energía, y la sección a la que se asigna un grado de exposición medio es aquella que incluye, dentro de su rango, oleajes de mayor energía (Figura F.9b).

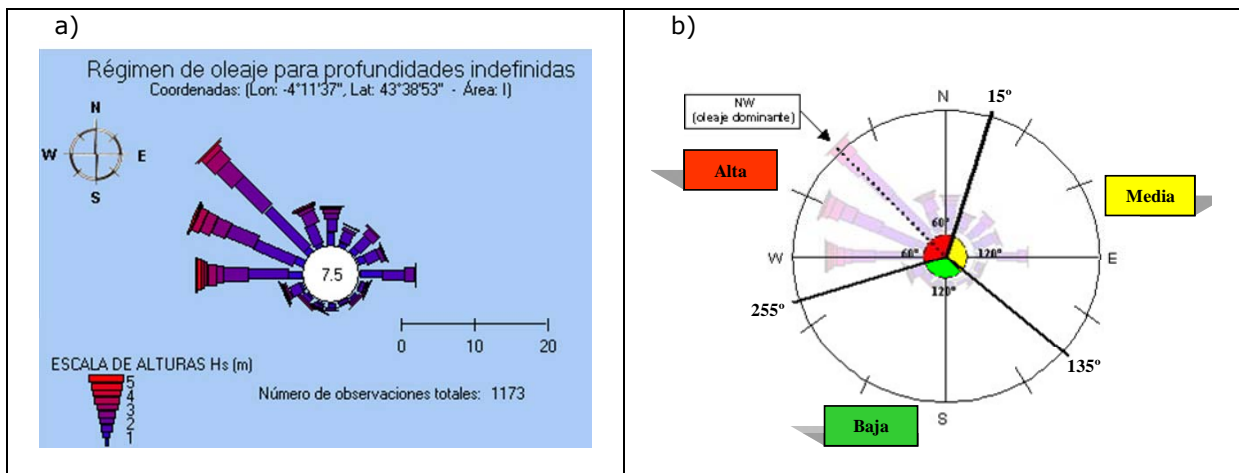


Figura F.9. a) Rosa del oleaje a profundidades indefinidas (Puertos del Estado, 2003). b) Establecimiento de las secciones (rangos de orientación) y del nivel de exposición asignado a cada sección en función de la rosa del oleaje.

De esta forma, mediante la combinación de la orientación del tramo y los rangos de orientación, a cada tramo de costa se le asigna un grado de exposición (Figura F.10).

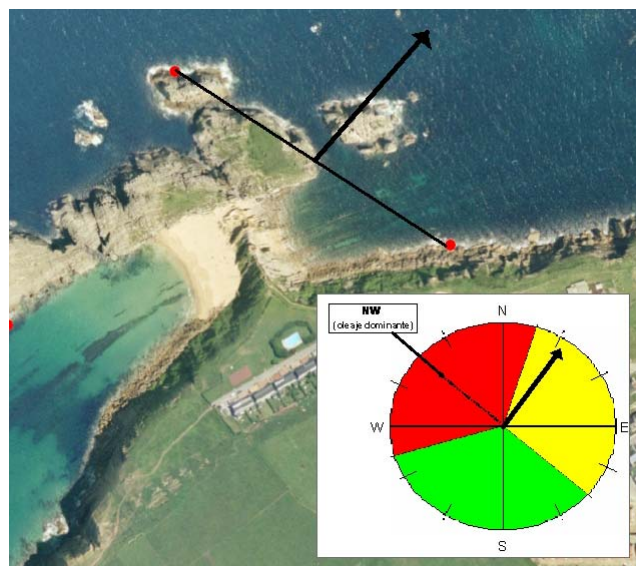


Figura F.10. Asignación del grado de exposición a un tramo de costa.

Alteración del grado de exposición de la costa al oleaje

La presencia de diques, u otros elementos de origen antrópico, con capacidad para proteger una determinada zona de la costa frente al oleaje incidente, modifican el grado de exposición de la costa al oleaje.

En el caso de existir alguna de estas infraestructuras antrópicas, es necesario definir la zona de sombra de la misma, es decir, la longitud de costa que está protegida del oleaje por la estructura. Para dicha zona, se considera que los tramos tienen un grado de exposición bajo.

De este modo, para realizar la valoración final del grado de alteración de la costa al oleaje se debe seguir el siguiente esquema jerárquico:

1. Calcular el grado de exposición natural de la costa al oleaje, sin tener en cuenta la existencia de presiones antrópicas.
2. Identificar las presiones existentes en cada tramo de costa y determinar la zona de sombra de cada presión (proyección de la presión sobre la costa), es decir, la longitud de la costa que está protegida del oleaje por la estructura.
3. Estimar longitud de la costa que presenta una alteración en su grado de exposición con respecto a la situación natural de los tramos costeros, porque la existencia de presiones antrópicas haya provocado un cambio en el grado de exposición de alto-medio a bajo (Figura F.11).



Figura F.11. Ejemplo de zona de sombra de una presión antrópica y longitud de costa con el grado de exposición alterado.

Una vez calculada la longitud de costa que tiene modificado su grado de exposición, la evaluación del estado de los procesos hidrológicos-hidrodinámicos en las unidades de valoración de las tipologías ecológicas Acanalado y rasa litoral y Sistema rocoso costero, se realiza con base en los criterios expuestos en la Tabla F.8.

Alteración del grado de exposición	Estado
Menos de 300 m de costa con el grado de exposición modificado con respecto a la situación original	Favorable
Entre 300 y 1000 m de costa con el grado de exposición alterado con respecto a la situación original	Insuficiente
Más de 1000 m de costa con el grado de exposición modificado con respecto a la situación original	Desfavorable

Tabla F.8. Criterios de valoración de la alteración del grado de exposición.

3 Referencias de interés

- Galvan, C., Juanes, J.A. and Puente, A., 2010. Ecological classification of European transitional waters in the North-East Atlantic Eco-region. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87: 442-450.
- GIOC, 2006. Metodología para el cálculo de un índice de vulnerabilidad al fuel. Aplicación a la costa de Cantabria, Santander.
- Puertos del Estado, 2003. ROM 0.3. Recomendaciones para la Consideración de Variables Medioambientales. I: Oleaje, Corrientes, Mareas y demás Variaciones del Nivel del Agua.