

# MÉTODO H. FLUJOS DE MATERIA Y ENERGÍA



## ÍNDICE

<b>1. Objetivo</b>	<b>H1</b>
<b>2. Procedimiento metodológico</b>	<b>H1</b>
2.1. Sistema playa-duna	H1
2.2. Sistema estuarino	H4
2.3. Acantilado y rasa litoral	H15
2.4. Bosque litoral	H17
2.5. Sistema rocoso costero	H20
<b>3. Referencias de interés</b>	<b>H24</b>



## 1 Objetivo

El presente método tiene por objeto presentar el sistema metodológico desarrollado para el cálculo del estado de los flujos de materia y energía de los espacios litorales de la red Natura 2000 en Cantabria.

Como aproximación a la evaluación de estos procesos, en el marco de este trabajo el análisis del estado de los flujos de materia y energía se realiza mediante la valoración de la composición y estructura de las comunidades de productores primarios y/o secundarios de los ecosistemas del medio litoral.

## 2 Procedimiento metodológico

La valoración del estado de los flujos de materia y energía se realiza mediante un diagnóstico diferencial, 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 flujos de materia y energía en cada una de las tipologías ecológicas litorales de los espacios Natura 2000 en Cantabria.

### 2.1 Sistema playa-duna

La evaluación del estado de los flujos de materia y energía de los sistemas playa-duna se realiza mediante la valoración de tres indicadores:

- Riqueza de formaciones vegetales.
- Cobertura global de la vegetación.
- Superficie potencial.

La evaluación de estos indicadores requiere de un paso previo, consistente en la identificación de las comunidades vegetales propias del sistema dunar (Tabla H.1), así como de su cobertura vegetal (densidad de vegetación) óptima.

En el marco de este trabajo, la cobertura vegetal óptima se define como la cobertura vegetal observada en las diferentes formaciones vegetales, en sistemas no alterados, a los que se les asume la condición de equilibrio. De acuerdo con la experiencia del equipo de trabajo encargado de la elaboración de los planes de gestión, la cobertura vegetal esperada en los hábitats dunares de los sistemas litorales de Cantabria es la descrita en la Tabla H.1.

Tipo de formación vegetal	Cobertura óptima (%)
<i>Playa húmeda no vegetada</i>	---
<i>Vegetación sobre playas</i>	---
<i>Dunas primarias</i>	50

Tipo de formación vegetal	Cobertura óptima (%)
<i>Dunas secundarias</i>	70
<i>Dunas terciarias</i>	90
<i>Dunas forestadas</i>	100
<i>Depresiones intradunales húmedas</i>	90
<i>Brezales-Matorrales</i>	100
<i>Masas forestales</i>	100

Tabla H.1. Formaciones vegetales características de los sistemas playa-duna y cobertura vegetal óptima de cada una de dichas formaciones.

A continuación se describen los tres indicadores utilizados en la evaluación del estado de los flujos de materia y energía de las unidades de valoración pertenecientes a la tipología ecológica sistema playa-duna.

### **Riqueza de formaciones vegetales**

Este indicador analiza y evalúa el número de comunidades vegetales, características del sistema playa-duna (Tabla H.1), presentes en cada unidad de valoración.

La evaluación del indicador *Riqueza de formaciones vegetales*<sup>6</sup> precisa de la diferenciación previa del tipo de sistema playa-duna objeto de análisis. De este modo, se debe clasificar a cada unidad de valoración en uno de los siguientes dos tipos de sistemas sedimentarios: *i*) los formados, exclusivamente, por playa húmeda, y *ii*) los sistemas compuestos por playa húmeda y zona seca susceptible de albergar comunidades dunares.

Una vez identificado el tipo de sistema, se realiza la valoración del indicador con base en la información cartográfica de los espacios Natura 2000 y los umbrales descritos en la Tabla H.2.

Número de formaciones vegetales presentes		Estado
Sistemas playa húmeda	Sistemas playa-duna	
≥2	> 3	Favorable
<2	2-3	Insuficiente
	<2	Desfavorable

Tabla H.2. Umbrales empleados para la valoración del Indicador de Riqueza de formaciones vegetales en las unidades de valoración del sistema dunar.

### **Cobertura global de la vegetación**

El indicador *Cobertura global de la vegetación* evalúa el estado de los hábitats de una unidad de valoración mediante el cálculo de la desviación media de su cobertura, con

<sup>6</sup> Se entiende por formación vegetal a una comunidad biótica, o biocenosis, formada por un conjunto de organismos de diferentes especies, desarrollados sobre un mismo territorio.

respecto a su cobertura óptima teórica (Tabla H.1). Para ello, se utiliza la siguiente expresión de cálculo:

$$DMC = \frac{\sum \Delta Cob_i}{ncom}$$

donde  $DMC$  es la desviación media de la cobertura de las formaciones vegetales,  $\Delta Cob_i$  es la desviación de la cobertura de la formación  $i$  con respecto a su cobertura óptima, y  $ncom$  es el número de formaciones presentes en la unidad de valoración.

$\Delta Cob_i$  se calcula con base en la siguiente formulación:

$$\Delta Cob_i = Cob_{\text{óptima}} - \overline{Cob_{\text{observada}}}$$

donde  $Cob_{\text{óptima}}$  es la cobertura óptima para la formación  $i$  (Tabla H.3) y  $Cob_{\text{observada}}$  es la cobertura media actual de dicha formación en la unidad de valoración.

Una vez cuantificada la desviación media de la cobertura vegetal de las comunidades vegetales de una unidad de valoración, se determina el estado del indicador mediante la aplicación de la escala de valoración expuesta en la Tabla H.3.

Desviación de la cobertura vegetal (%)	Estado
<10	Favorable
10-50	Insuficiente
> 50	Desfavorable

Tabla H.3. Umbrales utilizados en la valoración del indicador de Cobertura global de la vegetación.

### **Superficie potencial**

La valoración de este indicador permite estimar la potencialidad de recuperación de superficie dunar en una unidad de valoración.

Para ello, se cuantifica la superficie antrópica del sistema, es decir, aquella superficie que se encuentra ocupada bien por infraestructuras potencialmente recuperables<sup>7</sup> como sistema dunar, bien por especies de flora alóctona o invasora (Figura H.1).

Una vez estimada la superficie recuperable, se calcula la relación existente entre dicha superficie y el área total de la unidad de valoración (%):

<sup>7</sup>. Superficie susceptible de albergar comunidades dunares si los elementos antrópicos son eliminados, sin que dicha eliminación suponga un alto perjuicio social y/o económico.

$$\text{Superficie Potencial} = \frac{S \text{ recuperable}}{S \text{ total}} \times 100$$

La valoración del indicador se realiza con base en la aplicación de los criterios expuestos en la Tabla H.4.



Figura H.1. Ejemplo de superficie recuperable, ocupada por especies alóctonas, en una unidad de valoración del sistema playa-duna.

Superficie potencial (%)	Estado
<5	Favorable
5-19,9	Insuficiente
≥20	Desfavorable

Tabla H.4. Umbrales para la valoración del indicador de superficie potencial recuperable en el sistema playa-duna.

## 2.2 Sistema estuarino

La evaluación del estado de los flujos de materia y energía de los sistemas estuarinos se realiza mediante el análisis de tres elementos de valoración: *i)* el estado de las comunidades de angiospermas estuarinas, *ii)* la estructura y composición de las comunidades de invertebrados bentónicos y *iii)* la calidad de los sedimentos estuarinos:

A continuación se describe la metodología utilizada en el análisis del estado de cada uno de estos elementos, así como sus indicadores.

### Comunidades de angiospermas estuarinas

La evaluación del estado de las comunidades de angiospermas estuarinas se realiza mediante la valoración de cuatro indicadores:

- Riqueza de hábitats de marisma.
- Cobertura de los hábitats de marisma.



- Distribución de macroalgas y fanerógamas marinas.
- Superficie potencial.

### **Riqueza de hábitats de marisma**

El cálculo de este indicador se basa en la cuantificación del número de hábitats propios del sistema estuarino (Tabla H.5) que, de acuerdo con la información cartográfica existente, se localicen en la unidad de valoración.

En dicha Tabla se enumeran tanto los hábitats del Anejo I de la Ley 42/2007, que pueden considerarse característicos de los estuarios cantábricos, como otras formaciones vegetales que, pese a no encontrarse definidas como hábitats de interés comunitario, sí resultan característicos del sistema. Igualmente, se describe la cobertura óptima teórica de las diferentes formaciones vegetales de acuerdo con lo establecido por Bueno (1996) para los estuarios cantábricos.

Hábitat	Descripción	Cobertura óptima (%)
1110	Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua poco profunda	---
11N1	Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados	---
1130	Estuarios	90
1140	Llanos fangosos o arenosos no cubiertos por agua en periodos de bajamar	---
1150	Lagunas costeras	30
1160	Grandes Calas y Bahías poco profundas	---
1170	Arrecifes	90
117N	Pseudo-arrecifes	90
1310	Vegetación anual pionera con <i>Salicornia</i>	65
1320	Pastizales de <i>Spartina</i>	63
1330	Pastizales salinos atlánticos	100
1420	Matorrales Halófilos mediterráneos y termoatlánticos	90
XXX	Otros	---

Tabla H.5. Hábitats de la Ley 42/2007 presentes en los estuarios cantábricos y Cobertura óptima de los mismos.

Una vez cuantificado el número de hábitats presentes en la unidad de valoración, la valoración de este indicador se realiza de acuerdo con los umbrales descritos en la Tabla H.6, desarrollados para cada uno de los cuatro grandes tipos de estuarios presentes en la región (ver Método C, Anejo V): lagunas litorales (Victoria), estuarios de influencia fluvial (Tina Mayor), estuarios mareales (Tina Menor, Joyel, Oyambre, Ajo, San Vicente, Bahía de Santander, Liencre, Marismas de Santoña y Oriñón) y estuarios de pequeño tamaño (San Juan y Galizano).

Número de hábitats presentes en la unidad de valoración				Estado
Laguna litoral	Estuario Fluvial	Estuario Mareal	Pequeño estuario	
≥3	≥4	≥10	≥3	Muy Bueno
---	---	7-9	---	Bueno
2	3	5-6	2	Moderado
---	---	3-4	---	Deficiente
<2	<3	≤2	<2	Malo

Tabla H.6. Umbrales para la valoración del indicador *Riqueza de hábitats estuarinos*.

A continuación se muestra un ejemplo de valoración del indicador *Riqueza de hábitats de marisma* en una unidad de valoración estuarina de la tipología mareal (Figura H.1).

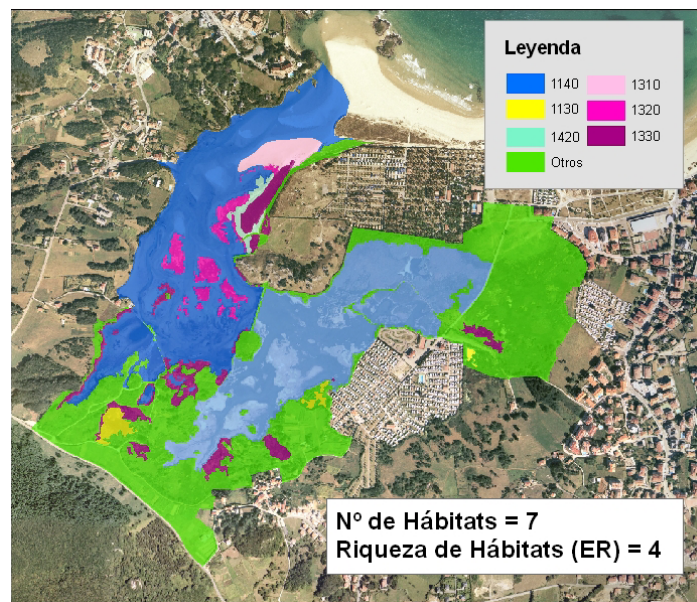


Figura H.1. Ejemplo de la evaluación de la riqueza de hábitats de marisma en una unidad de valoración del LIC Marismas de Santoña, Victoria y Joyel.

### **Cobertura de los hábitats de marisma**

Este indicador evalúa el estado de la vegetación estuarina de una unidad de valoración mediante el cálculo de la desviación media de su cobertura, con respecto a su cobertura óptima teórica (Tabla H.5), de acuerdo con la siguiente expresión de cálculo:

$$DMC = \frac{\sum \Delta Cob_i}{ncom}$$

donde *DMC* es la desviación media de la cobertura de los hábitats de marisma,  $\Delta Cob_i$  es la desviación de la cobertura del hábitat *i* con respecto a su cobertura óptima, y *ncom* es el número de hábitats presentes en el estuario.

$\Delta Cob_i$  se calcula con base en la siguiente formulación:

$$\Delta Cob_i = Cob_{\text{óptima}} - Cob_{\text{observada}}$$

donde  $Cob_{\text{óptima}}$  es la cobertura óptima para el hábitat  $i$  (Tabla H.5) y  $Cob_{\text{observada}}$  es la cobertura media actual del hábitat  $i$  en la unidad de valoración.

Una vez estimada la desviación media de la cobertura de los hábitats, la valoración del estado del indicador se realiza de acuerdo con los umbrales indicados en la Tabla H.7.

Desviación media de la cobertura de los hábitats (DMC)	Estado
$\leq 15$	Muy Bueno
15-29	Bueno
30-49	Moderado
50-74	Deficiente
$> 75$	Malo

Tabla H.7. Escala de valoración del indicador de *Cobertura de los hábitats de marisma*.

Quedan excluidos del proceso de evaluación de la cobertura global los hábitats correspondientes a las *praderas de angiospermas marinas* (hábitats 1110 y 1140) y *el estuario* (hábitat 1130), cuya valoración se llevará a cabo mediante el indicador de la distribución de macroalgas y fanerógamas marinas. Del mismo modo, los *hábitats no estuarinos* (hábitats tipo 91, 93, 21, 40, etc) no son tenidos en cuenta a la hora de realizar esta valoración.

### **Distribución de macroalgas y fanerógamas marinas**

La valoración de este indicador es un análisis del estado y la distribución de las comunidades de macroalgas, fanerógamas marinas y macrófitos presentes en una unidad de valoración.

La evaluación del indicador se realiza mediante el análisis e integración de tres subíndices:

- Riqueza de especies (Rm): número de especies de macroalgas, fanerógamas marinas y macrófitos estuarinos presentes en la unidad de valoración.
- Ratio algas verdes/resto de macrófitos (Am): proporción existente entre la superficie ocupada por algas verdes y la superficie total ocupada por el resto de los macrófitos estuarinos.
- Fanerógamas marinas (Nf): diferencia entre el número de especies de fanerógamas marinas presentes en la unidad de valoración y la riqueza potencial de las mismas, establecida con base en los datos históricos disponibles.

Cada uno de los subíndices es valorado con base en los criterios expuestos en la Tabla H.8.

	Valor del Subíndice		
	1	3	5
Rm	0-1	2-5	>6
Am	>3,1	1,1-3	<1
Nf	+ de 1	1	0

Tabla H.8. Criterios para la valoración de los indicadores Rm, Am y Nf.

La definición del estado del indicador *Distribución de macroalgas y fanerógamas marinas* se realiza a partir de la suma de los valores obtenidos para los tres subíndices (Rm, Am y Nf), mediante la aplicación de los criterios definidos en la Tabla H.9.

Sumatorio de Rm, Am y Nf	Estado
≥ 13	Muy Bueno
10-12	Bueno
7-9	Moderado
5-6	Deficiente
≤ 4	Malo

 Tabla H.9. Escala de valoración del indicador *Distribución de macroalgas y fanerógamas marinas*.

### Superficie potencial

El indicador *Superficie potencial* realiza una valoración del grado de antropización de la unidad de valoración estuarina. Para ello, se cuantifica la superficie antrópica del estuario, es decir, aquella superficie que se encuentre ocupada por comunidades cuya composición florística original se haya visto seriamente modificada, respecto a su composición original (plantaciones arbóreas, campos de cultivo, etc); la superficie ocupada de forma artificial, susceptible de ser restaurada como área estuarina<sup>8</sup>; y las superficies ampliamente colonizadas por especies de angiospermas alóctonas o invasoras (Figura H.3).

El valor de este indicador se estima mediante la siguiente formulación:

$$S_{Potencial} = \frac{\sum Sup_{ant} \times Cob_{ant}}{Sup_{uv}}$$

donde  $S_{Potencial}$  es la superficie potencial,  $Sup_{ant}$  es la superficie antrópica,  $Cob_{ant}$  es la cobertura de la zona alterada (en el caso de las superficies urbanizadas se considerará que dicha cobertura es del 100%) y  $Sup_{uv}$  es la superficie total de la unidad de valoración estuarina.

<sup>8</sup> Rellenos antrópicos no consolidados situados dentro de los límites del Dominio Público Marítimo Terrestre, que presentan una cota inferior a los 5m.

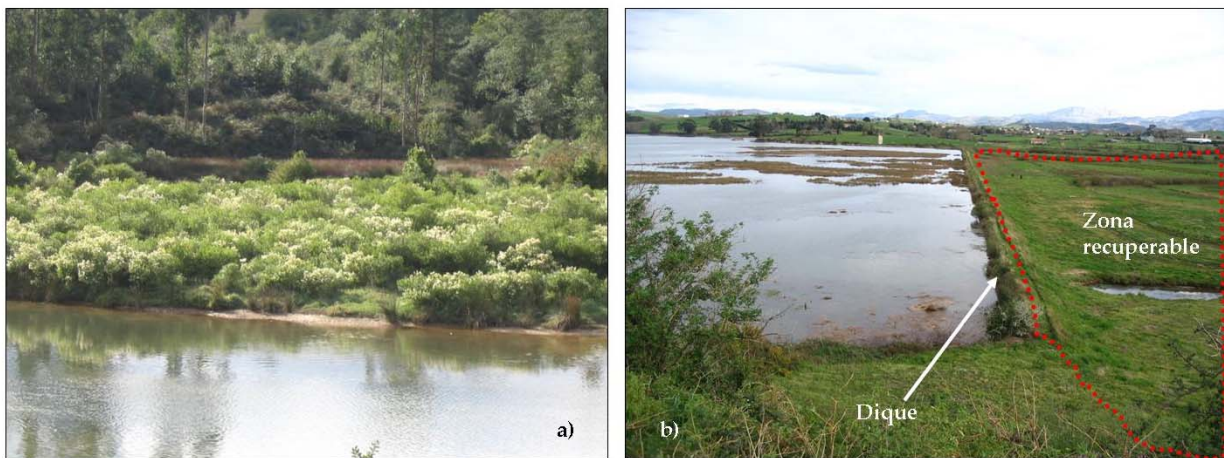


Figura H.3. Ejemplo de superficies estuarinas ocupadas antrópicamente: a) superficie estuarina colonizada por especies alóctonas (*Baccharis halimifolia*) y b) superficie ocupada susceptible de ser restaurada como área estuarina.

La valoración del estado del indicador *Superficie potencial* se realiza mediante la aplicación de los umbrales descritos en la Tabla H.10.

Superficie Potencial ( $S_{\text{Potencial}}$ )	Estado
< 10	Muy Bueno
10 – 19	Bueno
20 – 34	Moderado
35 – 50	Deficiente
> 50	Malo

Tabla H.10. Umbrales utilizados en la valoración del indicador de *Superficie Potencial*.

### **Integración de los indicadores**

Una vez evaluados los cuatro indicadores (Riqueza de hábitats de marisma, Cobertura de los hábitats, Distribución de macroalgas y fanerógamas marinas y Superficie potencial), el estado de las comunidades de angiospermas estuarinas queda definido por su (Figura H.4).

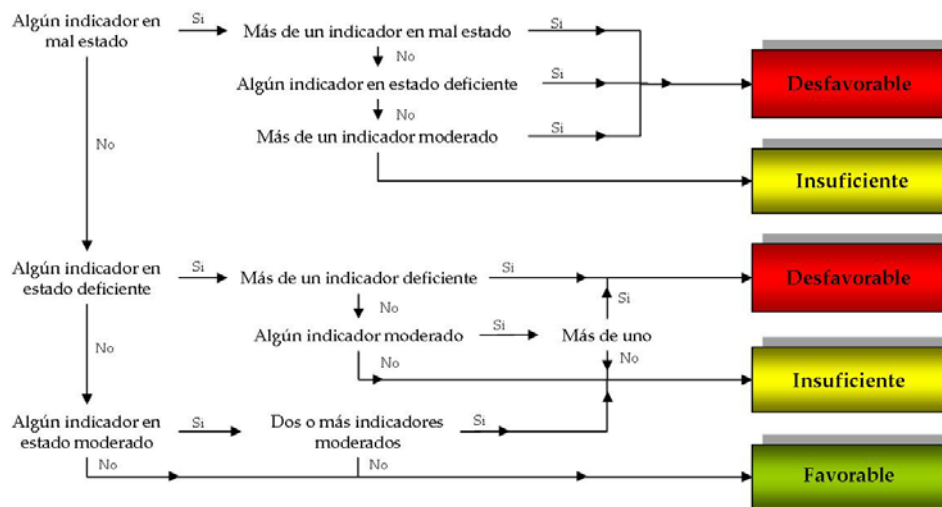


Figura H.4. Sistema de integración de los indicadores utilizados para la definición del estado de las comunidades de angiospermas estuarinas.

### **Estructura y composición de las comunidades de invertebrados**

La evaluación del estado de las comunidades de invertebrados bentónicos estuarinos se realiza mediante la aplicación del índice QSB (Quality of Soft Bottoms) (Galvan et al., 2010), desarrollado durante el proceso de implementación de la Directiva Marco del Agua en Cantabria.

El índice QSB utiliza cuatro indicadores para la definición del estado ecológico de los macroinvertebrados bentónicos:

- Riqueza total (S)
- Composición ( $B_C$ ) y estructura ( $B_E$ ) de la comunidad
- Abundancia de oportunistas ( $F_{OP}$ )
- Abundancia total ( $F_A$ )

Como paso previo, e imprescindible, a la aplicación del índice QSB, se deben definir las comunidades tipo de invertebrados que serán utilizadas como condiciones de referencia. Para ello, se toma como base la identificación previa de las comunidades genéricas presentes en las zonas intermareales de las aguas de transición de la zona de estudio.

Para cada una de las comunidades genéricas identificadas, se define la comunidad tipo a través de la estimación de la abundancia relativa media de las especies que aparecen, al menos, en el 40% de las muestras tomadas en zonas en buen estado (de acuerdo con los criterios de aplicación de la Directiva Marco del Agua), y que pertenecen a la misma comunidad genérica. Únicamente se consideran los taxones identificados a nivel de especie.

### **Riqueza total (S)**

La riqueza total (S) es el número total de especies o taxones identificados en la unidad de valoración.

### **Composición y estructura**

El análisis de la composición y estructura se realiza mediante la aplicación del índice de similitud de Bray-Curtis, comparando la abundancia relativa de las especies de la muestra, con las especies de la comunidad tipo de referencia definida previamente.

La valoración de la **composición** ( $B_c$ ) de la comunidad se realiza aplicando el índice de similitud a los datos, previamente transformados en valores de presencia/ausencia de especies.

La evaluación de la **estructura** ( $B_E$ ) de la comunidad se lleva a cabo mediante la aplicación del índice de similitud a los datos de abundancia relativa de las especies de la muestra, pero sólo incluyendo aquellas especies que aparecen en la comunidad tipo de referencia. Además, los datos de abundancias deben ser transformados, de forma previa, mediante la raíz cuadrada.

### **Abundancia de oportunistas**

La abundancia de oportunistas ( $F_{OP}$ ) se calcula como el porcentaje de especies oportunistas con respecto al total de las especies identificadas. Con este objeto, se consideran especies oportunistas aquellas especies que se encuentran incluidas en los grupos ecológicos IV y V establecidos para el cálculo del índice AMBI (Borja et al., 2004).

### **Abundancia total**

La abundancia total ( $F_A$ ) es el número de total de individuos registrados por  $m^2$ , excluyendo el gasterópodo *Hydrobia ulvae* y la clase Insecta. Esta abundancia es la que se utiliza para el cálculo de las abundancias relativas en el indicador estructura de la comunidad.

### **Estandarización de los indicadores**

Los valores obtenidos para los indicadores de riqueza y de composición y estructura de la comunidad (resultados de aplicar el índice de similitud de Bray-Curtis) deben ser estandarizados, de 0 a 1, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$X_{std} = X / CR_x$$

siendo "Xstd" el valor estandarizado del indicador, "X" el valor del indicador en la muestra y "CR<sub>x</sub>" la condición de referencia del indicador.

En el caso de que el valor estandarizado sea superior a 1, se considera que dicho valor es igual a 1.

Los factores de ponderación para los indicadores abundancia de especies oportunistas y abundancia total se definen como desviaciones sucesivas del 20%, 40%, 60%, 80% y 100% respecto a las condiciones de referencia, puntualizando que, en el caso de las especies oportunistas y la abundancia, por defecto se ajustan los umbrales extremos a una desviación del 10% para mantener una escala coherente. Si los valores de ambos indicadores se encuentran dentro de los rangos normales, el factor de ponderación es 1 y no influyen en la valoración del estado.

### ***Integración de los indicadores***

El estado de las comunidades de invertebrados bentónicos se estima aplicando la siguiente fórmula:

$$QSB = [(S + B_C + B_E) / 3] * F_{OP} * F_A$$

El valor final del índice QSB es un número, en función del cual se clasifica el estado de las comunidades de invertebrados bentónicos en tres categorías (Tabla H.11).

QSB	Estado
> 0.60	Favorable
0.40 - 0.60	Insuficiente
< 0.40	Desfavorable

Tabla H.11. Criterios para la valoración de la calidad del estado de las comunidades de invertebrados bentónicos.

### **Calidad química y orgánica de los sedimentos**

La valoración de la calidad de los sedimentos se realiza mediante una adaptación del Índice de la Calidad del Sedimento ( $I_{SED}$ ), propuesto para zonas portuarias (Puertos del Estado, 2005), que evalúa la contaminación química ( $I_{CQ}$ ) y la contaminación orgánica ( $I_{CO}$ ) de la unidad de valoración, de acuerdo con la siguiente expresión de cálculo:

$$I_{SED} = I_{CQ} + I_{CO}$$

Una vez cuantificado el  $I_{SED}$ , la calidad del sedimento se clasifica en tres categorías (Tabla H.12).

$I_{SED}$	Estado
$\geq 6$	Favorable
4-6	Insuficiente
$\leq 4$	Desfavorable

Tabla H.12. Criterios para la valoración de la calidad del Sedimento ( $I_{SED}$ ).



### Cálculo del Índice de Contaminación Química ( $I_{CQ}$ )

El índice de la contaminación química ( $I_{CQ}$ ) se estima mediante el cálculo del valor normalizado de la concentración media anual de metales pesados en la fracción fina del sedimento seco (<63mm), y de los HAPs y PCBs en la fracción total de sedimento seco a temperatura ambiente.

Los valores normalizados de metales pesados, HAPs y PCBs se obtienen mediante las tablas de normalización indicadas a continuación (CEDEX, 1994a; Directorate General for Environmental Protection, 1994).

<b>Mercurio (Hg) (mg/kg)</b>	<b><math>C_{Hg}</math></b>	<b>Cadmio (Cd) (mg/kg)</b>	<b><math>C_{Cd}</math></b>
$x < 0.2$	10	$x < 0.4$	10
$0.2 \leq x < 0.4$	8	$0.4 \leq x < 0.8$	8
$0.4 \leq x < 2.0$	5	$0.8 \leq x < 4.0$	5
$2.0 \leq x < 15$	2	$4.0 \leq x < 30$	2
$x \geq 15$	0	$x \geq 30$	0

<b>Plomo (Pb) (mg/kg)</b>	<b><math>C_{Pb}</math></b>	<b>Cobre (Cu) (mg/kg)</b>	<b><math>C_{Cu}</math></b>
$x < 40$	10	$x < 40$	10
$40 \leq x < 80$	8	$40 \leq x < 80$	8
$80 \leq x < 400$	5	$80 \leq x < 320$	5
$400 \leq x < 3500$	2	$320 \leq x < 2800$	2
$x \geq 3500$	0	$x \geq 2800$	0

<b>Zinc (Zn) (mg/kg)</b>	<b><math>C_{Zn}</math></b>	<b>Cromo (Cr) (mg/kg)</b>	<b><math>C_{Cr}</math></b>
$x < 150$	10	$x < 80$	10
$150 \leq x < 400$	8	$80 \leq x < 160$	8
$400 \leq x < 2000$	5	$160 \leq x < 700$	5
$2000 \leq x < 15000$	2	$700 \leq x < 7000$	2
$x \geq 15000$	0	$x \geq 7000$	0

<b>Arsénico (As) (mg/kg)</b>	<b><math>C_{As}</math></b>	<b>Níquel (Ni) (mg/kg)</b>	<b><math>C_{Ni}</math></b>
$x < 30$	10	$x < 40$	10
$30 \leq x < 60$	8	$40 \leq x < 80$	8
$60 \leq x < 180$	5	$80 \leq x < 320$	5
$180 \leq x < 1000$	2	$320 \leq x < 2800$	2
$x \geq 1000$	0	$x \geq 2800$	0

<b><math>\Sigma 7</math> PCB (mg/kg)</b>	<b><math>\Sigma 10</math> HAP (mg/kg)</b>
$x < 0.08$	$x < 30$

Tabla H.13. Tablas de normalización de Metales Pesados, HAPs Y PCBs.

A partir de del valor normalizado de cada uno de los ocho metales pesados considerados, se realiza la valoración conjunta de todos los Metales Pesados ( $C_{MP}$ ) mediante la aplicación del siguiente criterio:

Normalización Metales	$C_{MP}$
Todos los Metales = 10	5
Todos los Metales = 8	4
1-3 Metales con valores 2 ó 5	3
Más de 3 Metales con valores 2 ó 5	2
Algún Metal con valor 0	1

 Tabla H.14. Criterio para la valoración del indicador de metales pesados ( $C_{MP}$ ).

Los PCBs y HAPs son elementos de ponderación del sistema de valoración de la contaminación química. De este modo, en el caso de que ninguno de los dos indicadores supere los umbrales establecidos (Tabla H.13), el valor de la contaminación química del sedimento se encontrará determinado por el obtenido en la valoración de los metales pesados. En caso contrario (superación de alguno de los umbrales), la valoración se penaliza del siguiente modo:

- Si se registran valores superiores a los umbrales establecidos para alguno de los dos indicadores (PCBs o HAPs) el valor de contaminación química del sedimento será la mitad del obtenido mediante el cálculo de la concentración de los metales pesados ( $C_{MP}$ ).
- Si se registran valores superiores a los umbrales establecidos para ambos indicadores (PCBs y HAPs), la contaminación química de los sedimentos será la peor posible (valor 1 en la escala de valoración) independientemente de los resultados obtenidos en la valoración de los metales pesados.

### **Cálculo del Índice de Contaminación Orgánica ( $I_{CO}$ )**

El índice de la contaminación orgánica ( $I_{CO}$ ) se basa en el sistema de valoración desarrollado por el IFREMER (Grall et al., 2003), y se valora mediante la siguiente expresión:

$$I_{CO} = \frac{C_{COT} + C_{NTK} + C_{PT}}{2}$$

donde  $I_{CO}$  es el Índice de contaminación orgánica de los sedimentos;  $C_{COT}$  es el valor normalizado del porcentaje medio anual de Carbono Orgánico Total en la fracción fina del sedimento seco (<63mm);  $C_{NTK}$  es el valor normalizado de la concentración media anual de Nitrógeno Total Kjeldahl en la fracción fina del sedimento seco (<63mm); y  $C_{PT}$  es el valor normalizado de la concentración media anual de Fósforo Total en la fracción fina del sedimento seco (<63mm).

Los valores normalizados de carbono orgánico total ( $C_{COT}$ ), Nitrógeno Total Kjeldahl ( $C_{NTK}$ ) y Fósforo Total ( $C_{PT}$ ) se obtienen de las siguientes tablas de normalización.

Carbono Orgánico Total (COT) (%)		Nitrógeno Kjeldahl (NTK) (mg/kg)		Fósforo Total (PT) (mg/kg)	
Valores	$C_{COT}$	Valores	$C_{NTK}$	Valores	$C_{PT}$
$x < 0.5$	4	$x < 540$	3	$x < 450$	3
$0.5 \leq x < 2.1$	3	$540 \leq x < 1900$	2	$450 \leq x < 720$	2
$2.1 \leq x < 3.6$	2	$1900 \leq x < 3200$	1	$720 \leq x < 1100$	1
$3.6 \leq x < 5.2$	1	$x \geq 3200$	0	$x \geq 11.00$	0
$x \geq 5.2$	0				

Tabla H.15. Criterios para la valoración de los indicadores de Carbono Total ( $C_{COT}$ ), Nitrógeno Kjeldahl ( $C_{NTK}$ ) y Fósforo total ( $C_{PT}$ ).

## 2.3 Acantilado y rasa litoral

La evaluación del estado de los flujos de materia y energía en el Acantilado y rasa litoral se realiza mediante el diagnóstico del estado de la vegetación del acantilado. Esta evaluación se efectúa con base en el análisis de tres indicadores:

- Riqueza de formaciones vegetales características.
- Cobertura global de la vegetación.
- Superficie potencial.

### Riqueza de formaciones vegetales características

Este indicador evalúa la riqueza de formaciones vegetales, propias del sistema analizado, que se encuentran presentes en la unidad de valoración (Tabla H.16), con base en su distribución teórica en bandas, tal cual establecen Fernández y Loidi (1984) (Figura H.5).

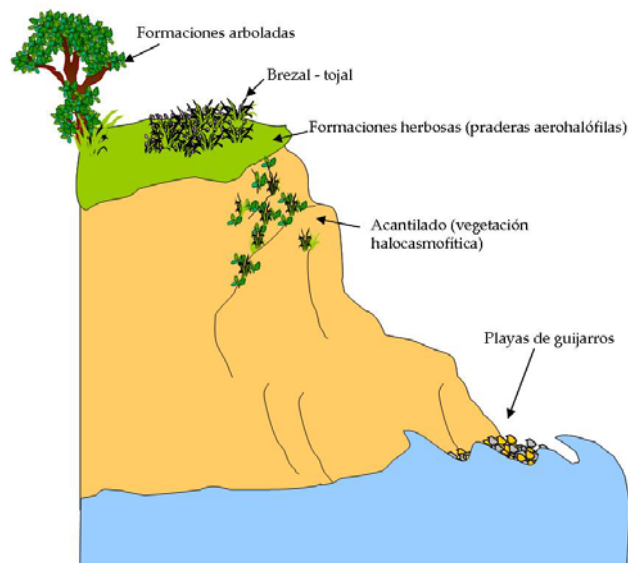


Figura H.5. Distribución catenal de la vegetación del Acantilado y rasa litoral.

Riqueza de formaciones vegetales	Estado
≥4	Favorable
2-3	Insuficiente
<2	Desfavorable

Tabla H.16. Umbrales para la valoración del Indicador de *Riqueza de formaciones vegetales* en el Acantilado y rasa litoral.

### **Cobertura global de la vegetación**

Este indicador analiza el estado de las formaciones vegetales de una unidad de valoración, mediante el cálculo de la desviación media de su cobertura, con respecto a su cobertura óptima (Tabla H.17) de acuerdo con la siguiente expresión de cálculo:

$$DMC = \frac{\sum \Delta Cob_i}{ncom}$$

donde  $DMC$  es la desviación media de la cobertura de las formaciones vegetales,  $\Delta Cob_i$  es la desviación de la cobertura de la formación  $i$  con respecto a su cobertura óptima, y  $ncom$  es el número de formaciones vegetales presentes en la unidad de valoración.

$\Delta Cob_i$  se calcula con base en la siguiente formulación:

$$\Delta Cob_i = Cob_{\text{óptima}} - \overline{Cob}_{\text{registrada}}$$

donde  $Cob_{\text{óptima}}$  es la cobertura óptima para la formación  $i$  (Tabla H.17) y  $\overline{Cob}_{\text{registrada}}$  es la cobertura media real de dicha formación vegetal en la unidad de valoración.

La cobertura óptima se corresponde con la cobertura vegetal observada en los diferentes tipos de formaciones vegetales presentes en el Acantilado y rasa litoral en sistemas no alterados, a los que se les asume la condición de equilibrio. De acuerdo con la experiencia del equipo de trabajo encargado de la redacción de los planes de gestión, la cobertura vegetal esperada en los hábitats del acantilado de la costa cantábrica es la siguiente:

Tipo de Formación vegetal	Cobertura óptima (%)
<i>Acantilados y playas de gujarros</i>	50
<i>Brezales y Matorrales</i>	90
<i>Formaciones herbosas</i>	100
<i>Bosques</i>	100

Tabla H.17. Cobertura vegetal óptima en las formaciones vegetales del Acantilado y rasa litoral.

A partir del cálculo de la desviación media de la cobertura, se clasifica el estado del indicador en tres categorías: favorable, insuficiente o desfavorable (Tabla H.18).

Desviación de la cobertura vegetal (DMC)	Estado
<20	Favorable
20 - 50	Insuficiente
> 50	Desfavorable

Tabla H.18. Valoración del Indicador de Cobertura global de la vegetación.

### **Superficie potencial**

La valoración de este indicador permite estimar la potencialidad de recuperación de superficie de acantilado en la unidad de valoración.

Para ello, se cuantifica la superficie antrópica del sistema, es decir, aquella superficie que se encuentra ocupada bien por infraestructuras potencialmente recuperables<sup>9</sup> como acantilado, bien por especies de flora alóctona o invasora.

El cálculo de la superficie de la unidad de valoración alterada por la presencia de infraestructuras antrópicas se realiza a partir del análisis de las fotos aéreas más actuales que se encuentren disponibles (en este caso se han utilizado las ortofotos del año 2006).

Una vez estimada la superficie recuperable, se calcula la relación existente entre dicha superficie y el área total de la unidad de valoración (%). La valoración del indicador se realiza con base en la aplicación de los criterios expuestos en la Tabla H.19.

Superficie potencial (%)	Estado
<5	Favorable
5-19,9	Insuficiente
≥20	Desfavorable

Tabla H.19. Umbrales para la valoración del indicador de superficie antrópica recuperable en la tipología ecológica Acantilado y rasa litoral.

## **2.4 Bosque litoral**

La evaluación del estado de los flujos de materia y energía en el Bosque litoral se realiza mediante la valoración de la estructura y composición de su vegetación. Esta evaluación se efectúa con base en el análisis de tres indicadores:

<sup>9</sup>. Superficie susceptible de albergar comunidades características del acantilado si los elementos antrópicos son eliminados, sin que dicha eliminación suponga un alto perjuicio social y/o económico.

- Riqueza de formaciones vegetales
- Cobertura global de la vegetación
- Superficie potencia

### **Riqueza de formaciones vegetales**

Este indicador valora la riqueza de formaciones vegetales, propias del bosque litoral, que se encuentran presentes en la unidad de valoración. La evaluación del estado del indicador se realiza de acuerdo con los criterios expuestos en la Tabla H.20.

Riqueza de formaciones vegetales	Estado
≥3	Favorable
2	Insuficiente
<2	Desfavorable

Tabla H.20. Umbrales de valoración del Indicador *Riqueza de formaciones vegetales* en el Bosque litoral.

### **Cobertura global de la vegetación**

El indicador *Cobertura global* valora el estado de las formaciones vegetales de una unidad de valoración, mediante el cálculo de la desviación media de su cobertura, con respecto a la cobertura óptima de las mismas (Tabla H.21), de acuerdo con la siguiente expresión de cálculo:

$$DMC = 100 - \frac{\sum \Delta Cob_i}{ncom}$$

donde *DMC* es la desviación media de la cobertura de las comunidades vegetales,  $\Delta Cob_i$  es la desviación de la cobertura de la formación *i* con respecto a su cobertura óptima, y *ncom* es el número de formaciones vegetales presentes en la unidad de valoración.

$\Delta Cob_i$  se calcula con base en la siguiente formulación:

$$\Delta Cob_i = Cob_{\text{óptima}} - \overline{Cob_{\text{observada}}}$$

donde  $Cob_{\text{óptima}}$  es la cobertura óptima para el hábitat *i* (Tabla H.21) y  $Cob_{\text{observada}}$  es la cobertura media actual de dicho hábitat en la unidad de valoración.

La cobertura vegetal óptima se corresponde con la cobertura vegetal observada en los diferentes tipos de formaciones vegetales presentes en el Bosque litoral en sistemas no alterados, a los que se les asume la condición de equilibrio. De acuerdo con la experiencia del equipo de trabajo encargado de la redacción de los planes de gestión, la cobertura vegetal esperada en las formaciones boscosas de la costa cantábrica es la siguiente:

Tipo de hábitat	Cobertura óptima (%)
<i>Brezales y Matorrales</i>	90
<i>Formaciones herbosas</i>	100
<i>Bosques</i>	100

Tabla H.21. Cobertura vegetal óptima de las diferentes tipologías de formaciones vegetales características de las unidades de valoración del Bosque litoral.

Una vez cuantificada la desviación media de la cobertura vegetal en las comunidades del bosque litoral, se define el estado del indicador, con base en los umbrales descritos en la Tabla H.22.

Desviación de la cobertura vegetal (DMC)	Estado
<15	Favorable
15-30	Insuficiente
>30	Desfavorable

Tabla H.22. Umbrales utilizados en la valoración del Indicador *Cobertura global de la vegetación*.

### **Superficie potencial**

La valoración del indicador *Superficie potencial* es una estimación de la potencialidad de recuperación de formaciones vegetales, propias del bosque litoral, en una unidad de valoración.

Esta valoración se realiza cuantificando la superficie antrópica del sistema, es decir, aquella superficie que se encuentra ocupada bien por infraestructuras antrópicas potencialmente recuperables<sup>10</sup>, bien por plantaciones o por especies de flora alóctona o invasora (Figura H.6).

El cálculo de la superficie de la unidad de valoración alterada por la presencia de infraestructuras, o comunidades antrópicas, se realiza a partir de la revisión de la información cartográfica y del análisis de las fotos aéreas más actuales que se encuentren disponibles (en este caso se han utilizado las ortofotos del año 2006).

<sup>10</sup>. Superficie susceptible de albergar comunidades características del bosque litoral si los elementos antrópicos son eliminados, sin que dicha eliminación suponga un alto perjuicio social y/o económico.



Figura H.6. Ejemplo de superficie ocupada por plantaciones de especies alóctonas en una unidad de valoración de Bosque litoral.

Una vez estimada la superficie recuperable, se cuantifica la relación existente entre dicha superficie y el área total de la unidad de valoración (porcentaje de superficie recuperable). De este modo, la valoración del indicador se lleva a cabo mediante la aplicación de los criterios expuestos en la Tabla H.23.

Superficie potencial (%)	Estado
<5	Favorable
5-19,9	Insuficiente
≥20	Desfavorable

Tabla H.23. Umbrales para la valoración del indicador *Superficie potencial* en la tipología ecológica Bosque litoral.

## 2.5 Sistema rocoso costero

La evaluación del estado de los flujos de materia y energía de la tipología ecológica Sistema rocoso costero se realiza con base en la valoración de la estructura y composición de las comunidades de macroalgas intermareales.

Con este objeto, se aplica el índice CFR (Juanes et al., 2007), que integra las directrices marcadas por la Directiva Marco del Agua para la valoración de las comunidades de macroalgas costeras (composición y abundancia). Esta valoración se lleva a cabo mediante la integración de tres indicadores:

- Cobertura de la vegetación.
- Riqueza de las poblaciones de macroalgas.
- Presencia de especies oportunistas.

La aplicación de estos indicadores requiere del reconocimiento previo de las especies características, oportunistas e invasoras existentes en la región (Tabla H.24). Este listado constituye la base para la estimación de los diferentes indicadores.



Especies características		Especies oportunistas	Especies invasoras
Intermareal	Submareal		
<i>Bifurcaria bifurcata</i>	<i>Calliblepharis ciliata</i>	<i>Blidingia spp.</i>	<i>Sargassum muticum</i>
<i>Caulacanthus ustulatus</i>	<i>Cladostephus spongiosus</i>	<i>Bryopsis spp.</i>	
<i>Cladostephus spongiosus</i>	<i>Codium tomentosum</i>	<i>Chaetomorpha spp.</i>	
<i>Codium tomentosum</i>	<i>Corallina spp.</i>	<i>Cladophora spp.</i>	
<i>Corallina spp.</i>	<i>Cystoseira baccata</i>	<i>Ectocarpales</i>	
<i>Cystoseira baccata</i>	<i>Cystoseira tamariscifolia</i>	<i>Enteromorpha spp.</i>	
<i>Fucus spp.</i>	<i>Desmarestia ligulata</i>	<i>Ulva spp.</i>	
<i>Gelidium latifolium</i>	<i>Dictyopteria membranacea</i>	<i>Ceramium spp.</i>	
<i>Gelidium sesquipedale</i>	<i>Dictyota dichotoma</i>		
<i>Gigartina spp.</i>	<i>Gelidium sesquipedale</i>		
<i>Laminaria ochroleuca</i>	<i>Halidrys siliquosa</i>		
<i>Laurencia spp.</i>	<i>Halopithys incurvus</i>		
<i>Leathesia difformis</i>	<i>Halopteris filicina</i>		
<i>Litophyllum tortuosum</i>	<i>Halurus equisetifolius</i>		
<i>Nemalion helminthoides</i>	<i>Heterosiphonia plumosa</i>		
<i>Pelvetia canaliculata</i>	<i>Laminaria ochroleuca</i>		
<i>Saccorhizza polyschides</i>	<i>Peyssonnelia sp.</i>		
	<i>Saccorhizza polyschides</i>		
	<i>Styphocaulon scoparia</i>		
	<i>Spatoglossum solieri</i>		
	<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>		
	<i>Styphocaulon scoparia</i>		

Tabla H.24. Listado de especies de macroalgas características, oportunistas e invasoras del litoral de Cantabria.

## Cobertura

El indicador de la *Cobertura* valora la densidad de las poblaciones de macroalgas características de la zona de estudio, mediante la estimación del porcentaje de recubrimiento de las macroalgas características (Tabla H.25).

La realización de esta valoración debe de tener en cuenta tanto los niveles de profundidad a los que se aplica el índice (intermareal, submareal), como el grado de exposición de la zona de estudio (expuesto-semiexpuesto).

Cobertura de macroalgas características				
Valoración	Intermareal Semiexpuesto	Intermareal Expuesto	5 - 15 m	15 - 25 m
<b>40</b>	70-100%	50-100%	70-100%	50-100%
<b>30</b>	40-69%	30-49%	40-69%	30-49%
<b>20</b>	20-39%	10-29%	20-39%	10-29%
<b>10</b>	10-19%	5-9%	10-19%	5-9%
<b>0</b>	<10%	< 5%	<10%	< 5%

 Tabla H.25. Umbrales para la valoración de la *Cobertura* de las poblaciones de macroalgas características del medio intermareal y submareal somero.

## **Riqueza de poblaciones de macroalgas**

El indicador de *Riqueza* valora el número de poblaciones de macroalgas que están presentes en la zona de estudio (Figura H.7). Para ello, se contabiliza como población de macroalgas aquellas especies que muestran una cobertura significativa, es decir, una cobertura superior al 1% de la superficie de estudio.



Figura H.7. Ejemplo de zona de estudio intermareal utilizada para la aplicación del índice CRF.

La valoración del indicador se realiza mediante los criterios establecidos en la Tabla H.26.

<b>Riqueza de poblaciones de macroalgas características</b>				
Valoración	Int. Semiexp.	Int. Expuesto	5 - 15 m	15 - 25 m
<b>15</b>	> 5	> 3	> 5	> 5
<b>11</b>	4 - 5	3	4 - 5	4 - 5
<b>7</b>	2 - 3	2	2 - 3	2 - 3
<b>3</b>	1	1	1	1
<b>0</b>	0	0	0	0

Tabla H.26. Criterios para la evaluación de la *Riqueza* de las poblaciones de macroalgas características de la zona objeto de análisis.

## **Oportunistas**

El indicador denominado *Oportunistas* evalúa la cobertura de especies oportunistas, uno de los principales indicadores de contaminación orgánica, principalmente relacionado con el incremento de nutrientes en la zona de muestreo.

El indicador se calcula mediante la estimación del porcentaje de recubrimiento (Figura H.8) de estas comunidades, aplicando los criterios definidos en la Tabla H.27.



Figura H.8. Ejemplo de zona intermareal con un gran recubrimiento de especies oportunistas.

Especies oportunistas			
Valoración	Intermareal	5 - 15 m	15 - 25 m
<b>30</b>	<10%	<5%	<5%
<b>20</b>	10-19%	5-9%	5-9%
<b>15</b>	20-29%	10-19%	10-19%
<b>5</b>	30-69%	20-49%	20-49%
<b>0</b>	70-100%	50-100%	50-100%

Tabla H.27. Criterios para la valoración del indicador denominado Oportunistas.

### Integración de los indicadores

Los indicadores del índice CFR se integran de acuerdo con la siguiente expresión de cálculo:

$$\text{CFR} = \text{Cobertura} + \text{Riqueza} + \text{Oportunistas}$$

El estado de los flujos de materia y energía en el Sistema Rocoso Costero queda determinado por la valoración final del índice (Tabla H.28).

CFR	Estado
> 61	Favorable
41-61	Insuficiente
≤ 40	Desfavorable

Tabla H.28. Criterios para la valoración del estado de los flujos de materia y energía con base en el resultado obtenido en la aplicación del índice CFR.

### 3 Referencias

- Borja, A. et al., 2004. Implementation of the European water framework directive from the Basque country (northern Spain): a methodological approach. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 209-218.
- Bueno, A., 1996. *Flora y vegetación de los estuarios asturianos.*, Universidad de Oviedo, Oviedo.
- CEDEX, 1994. *Recomendaciones para la caracterización de sedimentos y gestión del material dragado en los puertos españoles.*, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, Madrid.
- Directorate General for Environmental Protection, 1994. *Circular on intervention values for soil remediation*, Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environmental.
- Fernandez Prieto, J.A. and Loidi, J., 1984. Estudio de las comunidades vegetales de los acantilados costeros de la cornisa cantábrica. *Documents phytosociologiques*, VIII: 185-217.
- Grall, J., Quiniou, F. and Glemarec, M., 2003. Bioévaluation de la qualité environnementale des milieux portuaires. In: Ifremer (Editor), *Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'inmersion*. Alzieu, C., pp. 89-117.
- Juanes, J.A., Guinda, X., Puente, A. and Revilla, J.A., 2007. Macroalgae, a suitable indicator of the ecological status os coastal rocky communities in the NE Atlantic. *Ecological Indicators*, In Press.
- Puente, A., Juanes, J.A., Echavarri-Erasun, B., Galván, C. and Ondiviela, B., 2010. A proposal for the assessment of the composition and community structure of benthic macroinvertebrates in transitional waters. The QSB index, ICES Annual Science Conference, Nantes.
- Puertos del Estado, 2005. *Recomendaciones para obras marítimas. ROM 5.1-05. Calidad de las Aguas Litorales en Áreas Portuarias. Serie 5. Las obras marítimas y portuarias en el entorno litoral*, Ministerio de Fomento, Madrid.