

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

**DPTO. DE CIENCIAS Y TÉCNICAS DEL AGUA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**GRUPO DE EMISARIOS SUBMARINOS E HIDRÁULICA AMBIENTAL**

**T E S I S   D O C T O R A L**

**DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS APLICABLES A LA  
EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS MASAS DE  
AGUA COSTERAS, *SENSU* DIRECTIVA MARCO DEL AGUA**

Presentada por: XABIER GUINDA SALSAMENDI

Dirigida por: JOSÉ A. JUANES DE LA PEÑA  
JOSÉ A. REVILLA CORTEZÓN

Santander, Febrero de 2008

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

---

### 6.1. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en esta tesis, se han llevado a cabo diferentes diseños experimentales cuyos resultados aportan soluciones y propuestas a la implementación de los sistemas de evaluación del estado ecológico exigidos por la Directiva Marco del Agua, en el ámbito del mar Cantábrico.

Los resultados obtenidos han permitido extraer las siguientes conclusiones en relación a la valoración de la calidad fisicoquímica de las aguas, la valoración de la calidad de las macroalgas y la integración de los sistemas de valoración.

#### **Valoración de la calidad fisicoquímica de las aguas**

- El diseño factorial empleado ha puesto de manifiesto la importancia de las variables utilizadas, sus condiciones de referencia y los métodos de valoración aplicados, en los resultados de la evaluación de la calidad fisicoquímica de las aguas.
- La eliminación de variables con una elevada variabilidad natural, tales como la temperatura o la salinidad, y la inclusión de variables estrechamente vinculadas a fuentes de contaminación antropogénicas, tales como los indicadores bacteriológicos, pueden incrementar notablemente la sensibilidad de los procedimientos utilizados en la valoración de la calidad fisicoquímica de las aguas.
- El establecimiento de unas condiciones de referencia adecuadas es fundamental para garantizar la fiabilidad de las evaluaciones realizadas. Éstas deben reflejar correctamente la variabilidad intrínseca del medio en ausencia de alteraciones

antropogénicas, para lo cual se requieren series de datos que contemplen la heterogeneidad espacial y temporal de las características de las masas de agua.

- El método del Valor Crítico (CV), además de estar basado en un principio fundamental de la DMA, presenta una elevada sensibilidad para detectar alteraciones antropogénicas en las aguas. Si se considera, además, su sencillez de aplicación e interpretación, puede constituir un método apropiado para la valoración de la calidad fisicoquímica de las aguas.

### **Valoración de la calidad de las macroalgas**

- La distribución de las principales poblaciones de macroalgas está fuertemente influenciada por la profundidad, pudiéndose distinguir dos niveles submareales significativamente diferenciados (0-12m y 13-24m), tanto en cuanto a la composición de las poblaciones presentes, como a sus porcentajes de cobertura, poniendo en evidencia la necesidad de incorporar dicha fuente de variabilidad en la valoración de la calidad de este indicador.
- El índice CFR, basado en la valoración conjunta de 4 indicadores (cobertura, riqueza y estado fisiológico de las poblaciones de macroalgas características y porcentaje de especies oportunistas) ha permitido discriminar la calidad de las comunidades de macroalgas presentes en zonas alteradas e inalteradas, tanto intermareales como submareales, cumpliendo los requisitos exigibles a las métricas aplicables en la evaluación del estado ecológico.
- Las distintas formas de considerar los indicadores utilizados para la valoración de la calidad de las macroalgas en los índices analizados (riqueza específica *vs.* riqueza de poblaciones de macroalgas características, porcentaje del número de especies oportunistas *vs.* porcentaje de cobertura relativa de especies oportunistas, etc.) han dado lugar a notables diferencias en los resultados de las valoraciones. Además, se ha puesto en evidencia la importancia de considerar la abundancia (e.g. en términos de cobertura) en el resultado final de la valoración.
- La aplicación del índice CFR en el medio intermareal de Cantabria frente a distintos tipos de gradientes de contaminación (urbanos e industriales) ha dado lugar a mejores resultados que el índice RSL propuesto en el grupo de intercalibración del NE Atlántico. Entre las principales causas que explicarían los desajustes observados destacan las diferencias existentes en la composición de las comunidades de macroalgas entre la costa de Cantabria (en la que

predominan las algas rojas) y el norte de Europa (donde predominan las algas pardas), así como la baja capacidad discriminatoria de algunos de los indicadores que componen el sistema de valoración del índice RSL (proporción de algas rojas, ratio ESG, etc.)

### **Integración de los sistemas de valoración**

- Tanto los métodos de agregación aplicados (medias, medias ponderadas, peores valores, etc.), como la extensión de las masas de agua consideradas (3 ó 7) han mostrado su influencia en los resultados de la evaluación del estado ecológico de las masas de agua.
- Asumiendo la “homogeneidad relativa” de las características tipológicas de las aguas costeras de Cantabria, su fragmentación en masas de agua de diferente extensión representa un factor decisivo en la evaluación final de su estado ecológico.
- De los cuatro niveles de integración definidos, los dos primeros (NI-0: integración a nivel de estación; NI-1: integración a nivel de masa de agua) son los que determinan en mayor medida la valoración final del estado ecológico de las masas de agua.
- En consecuencia, se debe realizar un esfuerzo en la estandarización de los procedimientos aplicables a la cuantificación de cada uno de los indicadores (NI-0), con especial incidencia en la cuantificación precisa de su variabilidad espacio-temporal intrínseca.
- El método de agregación que mejor refleja la calidad global de los indicadores a nivel de masa de agua (NI-1) sería aquel basado en la valoración promediada de los datos, siempre y cuando su distribución espacio-temporal sea representativa.
- Los procedimientos propuestos para la integración de los indicadores de calidad biológicos (NI-2) y para la evaluación del estado ecológico (NI-3) representan las aproximaciones más exigentes, por lo que su implementación requiere la reducción de las fuentes de incertidumbre (errores de asignación) asociados a los primeros niveles de integración (NI-0, NI-1), con el fin de evitar una penalización excesiva e injustificada en los resultados finales.

### 6.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de los trabajos realizados en esta tesis han puesto de manifiesto la existencia de ciertas carencias en los procedimientos de valoración descritos, así como la posibilidad de explorar nuevos campos que podrían dar lugar a mejoras sustanciales en el complejo proceso de evaluación del estado ecológico de las masas de agua costeras. A continuación se mencionan algunos de los aspectos que podrían constituir las futuras líneas de investigación de esta tesis.

- En relación al fitoplancton, podría estudiarse la posibilidad de utilizar técnicas de teledetección (e.g. fotografías de satélite) para llevar a cabo las evaluaciones de este indicador biológico.
- En cuanto a las macroalgas, a pesar de la demostrada validez del índice CFR, sería recomendable estandarizar los procedimientos para su aplicación, con el fin de reducir las posibles apreciaciones subjetivas en las valoraciones de los diferentes indicadores.
- Además, con el fin de evitar las costosas prospecciones submarinas realizadas por buceadores, podría estudiarse la posibilidad de utilizar vehículos operados a distancia (ROVs) para la aplicación del índice CFR.
- Tanto en los elementos de calidad biológicos (fitoplancton, macroalgas, invertebrados bentónicos), como en los elementos de calidad fisicoquímicos, sería recomendable seguir mejorando el conocimiento disponible sobre la variabilidad intrínseca del medio, como base para la definición precisa de las condiciones de referencia.
- Finalmente, a medida que vayan desarrollándose o adoptándose nuevos procedimientos de valoración, éstos deberán ser contrastados y validados de cara a su aplicación en las aguas costeras del Golfo de Vizcaya y, más concretamente, de Cantabria.