

Memoria descriptiva de la herramienta AMBI y M-AMBI para la evaluación del estado ecológico de mares y estuarios

El desarrollo de esta herramienta, para la lucha contra la contaminación marina, lo ha realizado un **equipo de investigadores del Centro Tecnológico AZTI-Tecnalia** (Unidad de Investigación Marina), liderado por Ángel Borja, que incluye a Iñigo Muxika, Germán Rodríguez, Javier Franco, Juan Bald, Víctor Pérez, Joxe Mikel Garmendia, Julien Mader, Leire Ibaibarriaga, y Raúl López de Guereñu.

1.- Contexto

AZTI-Tecnalia comenzó a monitorear la costa vasca a mediados de los años 80. Pronto, el equipo de trabajo identificó que, aunque existían muchos seguimientos ambientales en el mundo, muy pocos incidían en la evaluación del estado ecológico del bentos (la fauna y flora que vive en los fondos marinos), limitándose dichos estudios a describir las comunidades. Esto conllevaba que los monitoreos no fueran muy útiles en la lucha contra la contaminación marina y del litoral, al no poder establecer el nivel de contaminación o degradación, para poner medidas de remedio en caso necesario. El análisis de todo ello nos llevó a tratar de **desarrollar una herramienta** que fuera **capaz de evaluar** dicho **estado**. Para ello se estudiaron los datos de que se disponía en los estuarios y costa del País Vasco, donde había diversos gradientes de impacto humano (vertidos urbanos e industriales, pérdida de hábitats, etc.), junto con los antecedentes que existían en Estados Unidos y Europa tratando de hallar una herramienta similar. Esto ya se había intentado en el estudio de ríos (desde los años 50 y 60) y menos intensamente en costas (especialmente a partir de los 70), sirviéndonos estos estudios previos de base ecológica teórica a lo que luego se desarrolló en AZTI-Tecnalia. Esta fase de estudio (finales de los 90) **coincidió con la discusión y puesta en marcha de la Directiva Europea Marco del Agua** (DMA, 2000/60/EC), que buscaba precisamente

herramientas e indicadores de este tipo, capaces de determinar el impacto causado por las actividades humanas, para luego establecer las actuaciones necesarias de lucha contra la contaminación marina y del litoral que revertieran dicho impacto.

2.- Descripción

La puesta en marcha de la herramienta se dio con la **publicación en el año 2000**, por A. Borja, J. Franco y V. Pérez, en la revista científica *Marine Pollution Bulletin* (Boletín de Contaminación Marina, vol. 40(12), pp. 1100-1114), del artículo: *A marine biotic index to establish the ecological quality of soft bottom benthos within European estuarine and coastal environments* (un índice biótico marino para la determinación de la calidad ecológica del bentos de sustrato blando en los estuarios y costas europeos). En él se daba a conocer la **herramienta AMBI** (*AZTI's Marine Biotic Index*, o Índice Biótico Marino de AZTI), que, a partir de muestras de bentos, calcula un valor entre 0 (bentos sin alterar) y 6 (bentos muy alterado) o 7 (zonas sin bentos), que permite evaluar el estado de cualquier lugar marino del mundo. Para ello, se basa en la proporción de la abundancia de cinco grupos ecológicos (I: especies sensibles a la contaminación; II: especies indiferentes a la contaminación; III: especies tolerantes a la contaminación; IV: especies oportunistas de segundo orden; V: especies oportunistas de primer orden), en que se clasifica cada una de las especies que aparecen en una muestra tomada del fondo marino. Uno de los más importantes trabajos realizado por el equipo de AZTI-Tecnalia fue clasificar esas especies. En el citado artículo fueron 900 especies, especialmente del Atlántico, y actualmente son casi **6.000 especies de todo el mundo**, incluyendo el Pacífico, mar del Norte, Báltico, Mediterráneo, Índico, mar de la China, etc.

A partir de ese momento este artículo se convirtió en una **referencia internacional**, siendo el **segundo más citado en la historia de la revista** (entre más de 7.300 artículos publicados desde 1970), con más de 240 citas en la actualidad. De hecho, la red de

conocimiento **ISI (Instituto para la Información Científica)**, reconoció a este artículo, en septiembre de 2007, como el promotor de uno de los temas de investigación (indicadores en plantas y animales) que más rápido estaban creciendo, entre 22 campos de investigación (www.esi-topics.com/fmf/2007/september07-AngelBorja.html). Tres hechos pueden identificarse como **razones del éxito** de esta herramienta: (1) su **coincidencia con la publicación de la DMA**; (2) el desarrollo en 2004, por Julien Mader y Ángel Borja, de un **programa de acceso libre** (a través de la página <http://ambi.azti.es>), en español e inglés, que permitió que investigadores y técnicos de todo el mundo pudieran calcular de manera sencilla el estado de sus costas y establecer el impacto ambiental sufrido, con objeto de tomar medidas de restauración y lucha contra la contaminación; y (3) que **la herramienta genera unos gráficos** que permiten **informar a las autoridades** que deben luchar contra la contaminación marítima, y **a la sociedad** en general, de una **manera muy sencilla e intuitiva** del estado ecológico, sin necesidad de mostrar figuras complicadas, sólo entendibles por los expertos. Algunos **ejemplos de pantallas** con resultados **se pueden ver en el Anexo 1**.

Sin embargo, la DMA requería que, además de determinar la proporción de especies sensibles y oportunistas, como hacía AMBI, se tuvieran en cuenta otras variables de la comunidad, como la diversidad o la riqueza. El equipo de AZTI-Tecnalia estuvo trabajando entre 2002 y 2007 en **complementar esta herramienta** y, gracias a las Tesis Doctorales de Juan Bald e Iñigo Muxika, dirigido éste último por Ángel Borja, se **publicó en 2007**, en la misma revista mencionada (vol. 55, pp 16-29), por I. Muxika, Á. Borja y J. Bald, el artículo: *Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive* (uso de datos históricos, juicio de experto y análisis multivariante, para determinar las condiciones de referencia y el estado

ecológico del bentos, de acuerdo con la Directiva Marco del Agua). Mediante este trabajo se desarrolló el **índice M-AMBI** (AMBI multivariante) que, comparando datos de monitoreo de cualquier parte del mundo, con las condiciones de referencia (en ausencia de impacto humano) de dichos lugares, proporciona un valor de 0 (mal estado) a 1 (muy buen estado). A su vez, este nuevo desarrollo de la herramienta AMBI se incorporó al programa de acceso libre, lo que hizo que su uso se expandiera aún más. Nuevamente, este artículo fue **reconocido por Thomson Reuters, en octubre de 2008**, como un artículo de rápido crecimiento o rompedor, al ser de los más citados en su disciplina en 2007-2008 (<http://sciencewatch.com/sciencewatch/dr/fbp/2008/08octfbp/08octfbpMuxi/>), y este mismo año **2010**, la revista *Marine Pollution Bulletin*, lo ha **reconocido en un congreso en Hong Kong**, al ser el tercero más citado de los publicados en 2005-2009 (con 77 citas, incluso habiendo sido publicado en 2007).

Por todo ello, **esta herramienta está contribuyendo a determinar la calidad del medio marino en todo el mundo** y, en los casos de datos negativos de calidad ambiental, a la lucha contra la contaminación marina y litoral, mediante una serie de actuaciones, que incluyen depuración de las aguas o restauración de lugares degradados.

3.- Resultados obtenidos

- **Se está aplicando en prácticamente todo el mundo**, siendo **M-AMBI de uso oficial en España** (Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica, BOE 229), **y en Francia, Alemania, Italia, Bulgaria y Rumania**. **AMBI es de uso oficial además en Dinamarca, Gran Bretaña, Irlanda, Portugal y Eslovenia** (ver la Decisión de la Comisión, de 30 de octubre de 2008, por la que se fijan, de conformidad con la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, los valores de las clasificaciones de los sistemas de seguimiento de los Estados miembros a raíz del ejercicio de intercalibración

(2008/915/CE) Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L332: 20-44).

Actualmente los estados de **Florida y California**, en USA, **están estudiando el uso** de esta herramienta de manera oficial, tras las invitaciones cursadas a Ángel Borja, para trabajar con los datos de estos lugares.

- El ‘Diálogo de la Acuicultura del Salmón’, promovido por WWF, ha propuesto **AMBI** como uno de los indicadores para el **monitoreo de las granjas de cultivo de salmón en todo el mundo**, (www.worldwildlife.org/what/globalmarkets/aquaculture/dialogues-salmon.html), al considerarla una herramienta adecuada para la detección de los impactos de esta actividad en el medio marino y para su eventual corrección.
- Se estudia ahora la **posibilidad de utilizarlas en la Directiva de la Estrategia Marina Europea (DEME)**, ya que AMBI y M-AMBI se han investigado bajo un **amplio espectro de presiones humanas**: vertidos urbanos e industriales, plataformas de petróleo, accidentes petroleros, dragados, vertidos de productos de dragado, extracción de áridos, obras marítimas, puertos comerciales y deportivos, acuicultura en tierra y en mar, etc., tanto en estuarios, como lagunas, zonas costeras y mar abierto.
- **Dinamizadora de la I+D** de nuevos métodos de monitorización y de lucha contra la contaminación marina, habiendo publicaciones, tesis doctorales, informes y desarrollos a partir de ella, en España, Portugal, Francia, Bélgica, Holanda, Gran Bretaña, Irlanda, Alemania, Suecia, Noruega, Groenlandia, Italia, Grecia, Eslovenia, Turquía, Bulgaria, Rumania, Túnez, Argelia, Marruecos, China, Indonesia, Irán, México, USA, Canadá, Uruguay, Brasil y Chile.

En definitiva, y en palabras de José Luis Buceta, Director Técnico de la División de Protección del Mar y Prevención de la Contaminación Marina, de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, en su carta de apoyo a esta candidatura: “*AMBI y M-AMBI*

han tenido un gran impacto en toda Europa en la implantación de la DMA, habiendo proporcionado una gran visibilidad a España en su implementación, así como en la DEME, donde Angel Borja está jugando un papel muy activo. Estas herramientas son absolutamente necesarias para disponer del conocimiento del estado del mar y luchar con eficacia contra la contaminación marina”.

4.- Sinergias y Redes

Esta herramienta pionera ha dado lugar a una ‘explosión’ en el desarrollo de nuevos métodos, no sólo en Europa (ver la Decisión arriba mencionada), sino en otros lugares del mundo. El desarrollo de AMBI ha proporcionado **estrechas colaboraciones con diversas entidades de todo el mundo**, a través de invitaciones a dar conferencias, asignación de especies nuevas para incorporar en el programa AMBI, ayuda en la aplicación en nuevos entornos, etc. Esto ha hecho que desde **AZTI-Tecnalia**, en solitario o en colaboración con otros centros, se hayan escrito hasta ahora **28 artículos científicos sobre AMBI**, su desarrollo posterior y la aplicación en todo el mundo. Además, Ángel Borja ha organizado, entre 2006 y 2010, **diez sesiones científicas** en otros tantos congresos internacionales, en USA, Italia, Francia, Canadá y China, sobre indicadores del bentos. Además, Ángel Borja ha actuado de **mentor en Tesis Doctorales** de alumnos, que han recibido parte de su formación en AZTI-Tecnalia, de Portugal, Italia y México, en relación con esta herramienta.

Algunas de las **entidades y personas con las que se ha colaborado**, en publicaciones, asignación de especies, aplicaciones a nuevas presiones, intercalibración de métodos, nuevos desarrollos asociados, organización de sesiones en congresos, etc., son:

- Universidad de Murcia (Fuensanta Salas), Universidad de Cantabria (Araceli Puente), Universidad de Oviedo-Indurot (Pilar García), Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía-CSIC (Pilar Drake), España.

- Universidades de Coimbra-IMAR (João-Carlos Marques) y Lisboa-IMAR (João Ferreira), Portugal.
- Universidad Old Dominion (Daniel Dauer), Smithsonian Institution (Bjorn Tunberg), Proyecto de Investigación de las Aguas Costeras de California (Steve Weisberg), Distrito de Saneamiento de Los Angeles (Donald B. Cadien), Ciudad de San Diego (Ronald G. Velarde), Instituto de Ciencias Marinas de Virginia (Robert Diaz), Versar Inc (Roberto Llansó), USA.
- Joint Research Centre (Wendy Bonne), como centro coordinador de la intercalibración de la DMA, Universidades de Lecce (Alberto Basset), Pavía (Anna Occhipinti-Ambrogio), Insubria (Marco Saroglia) y Ferrara (Michele Mistri), Instituto ISPRA (Paolo Tomasetti), Italia.
- Universidad de Hull (Mike Elliott), Agencia de Medio Ambiente (Alison Miles), Instituto Marino de Plymouth (Paul Sommerfield), Asociación Escocesa para las Ciencias Marinas-SAMS (Kenny Black), Gran Bretaña.
- Instituto NIVA (Brage Rygg), Noruega; Universidad de Haifa (Dror Angel), Israel; Instituto Nacional de Biología (Janez Forte), Eslovenia; Instituto Nacional de Investigación Ambiental-NERI (Alf Josefson), Dinamarca; Instituto Francés para la Exploración del Mar (IFREMER) (Nicolas Desroy), Francia; Universidad de Creta (Iannis Karakassis), Grecia; Universidad Austral de Chile (Sandra Marín), Chile; Facultad de Ciencias de Montevideo (Pablo Muniz), Uruguay; Fundación de Estudios e Investigaciones Acuáticas-FUNDESPA (Luiz R. Tomáis), Brasil; Universidad Nacional Autónoma de México (Vivianne Solís-Reiss), México.
- Grupo de Trabajo de Bentos del ICES (Consejo Internacional para la Exploración del Mar) (Steve Degraer)

Estos contactos han dado lugar a **múltiples proyectos** compartidos **internacionalmente**

o **en solitario**, centrados en indicadores de la calidad del medio marino:

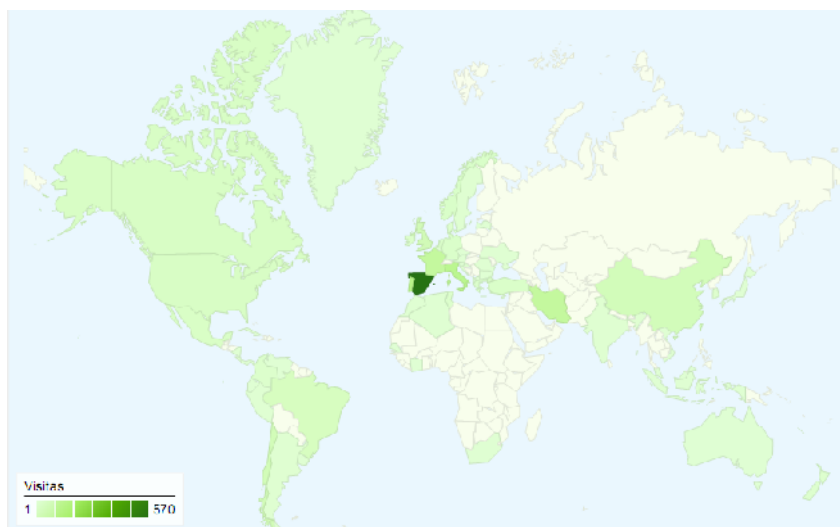
- INDECO: Desarrollo de indicadores ambientales para la Política Pesquera Común, Contrato nº: 513754, 6º Programa Marco Europeo (PME), Acción Coordinada, Prioridad 8.1, Política de Investigación Orientada, 2004-2006.
- ECASA: Método Ecosistémico para una Acuicultura Sostenible, Contrato nº: 006540, 6º PME, Prioridad Integrando y Consolidando la Investigación Europea, Investigación Específica o Proyecto de Innovación, 2004-2007.
- AMBI-Hard: una herramienta informática para evaluar la respuesta de la fauna y flora marinas de sustrato duro a las presiones antropogénicas. Diputación Foral de Gipuzkoa, Programa de Red de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2008-2010.
- WISER: Masas de Agua en Europa: Sistemas de Integración para Evaluar el Estado Ecológico y la Recuperación. Contrato nº: 226273. 7º PME, 2009-2011.
- MESMA- Monitoreando y Evaluando las Áreas de Gestión Espacial. Contrato nº: 226661. 7º PME, 2009-2011.

Además, **Ángel Borja es el coordinador del Grupo de Trabajo de Intercalibración del Bentos del Nordeste Atlántico**, para la DMA, que incluye a los 11 países atlánticos donde se están comparando métodos e índices.

5.- Comunicación y Difusión

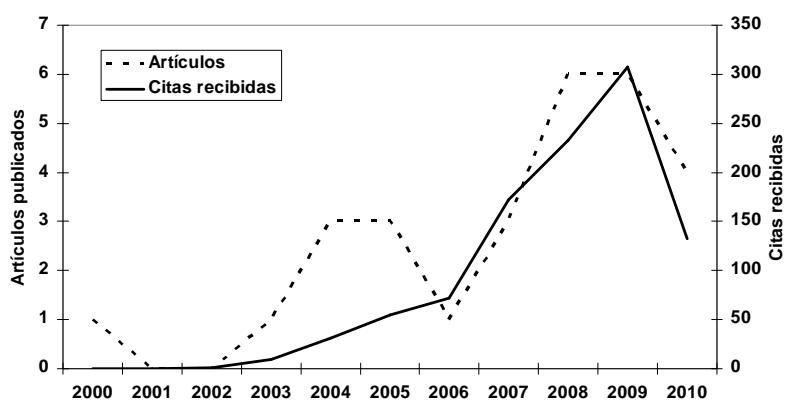
- Página web de AMBI:

Desde febrero de 2010 existe una web propia (<http://ambi.azti.es>) que incluye el software AMBI, habiendo estado antes incluida en la web corporativa de AZTI, desde 2004. Cuenta con **975 personas registradas**, contabilizándose **1548 entradas** a la página en estos **5 meses** y más de 8000 páginas visitadas (**toda la información detallada se puede ver en el Anexo 2**). La distribución mundial de las descargas entre febrero y junio de 2010 se observa en la Figura siguiente:



- Difusión del proyecto en artículos científicos:

Los **28 artículos publicados** desde AZTI-Tecnalia, sobre esta herramienta, han recibido un total de **1012 citas en revistas de impacto**, con un incremento constante (ver Figura, hasta el 29 de julio de 2010).



Además de los dos artículos mencionados antes, podemos destacar los siguientes (publicados en inglés, se incluye el título traducido):

- Borja, A.; I. Muxika, J. Franco, 2003. La aplicación de un Índice Biótico Marino a diferentes fuentes de impacto afectando a comunidades bentónicas de sustrato blando a lo largo de las costas europeas. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 835-845.
- Muniz, P., N. Venturini, A.M.S. Pires-Vanin, L.R. Tommasi, A. Borja, 2005. Aplicabilidad de in Índice Biótico Marino (AMBI) para determinar la calidad ecológica de las comunidades bentónicas de sustrato blando en la región atlántica de

Sudamérica. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 624-637.

- Borja, A., A.B. Josefson, A. Miles, I. Muxika, F. Olsgard, G. Phillips, J.G. Rodríguez, B. Rygg, 2007. Acercamiento a la intercalibración del estado ecológico del bentos en la ecoregión noratlántica, según la Directiva Marco del Agua europea. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 42-52.
- Borja, A.; Dauer, D.; Díaz, R.; Llansó, R.J.; Muxika, I.; Rodríguez, J.G.; Schaffner, L., 2008. Determinación de la calidad del bentos estuárico en la bahía de Chesapeake: comparación de tres índices. *Ecological Indicators*, 8: 395-403.
- Borja, A., I. Muxika, J.G. Rodríguez, 2009. Respuestas paradigmáticas de las comunidades del bentos marino a diferentes presiones antropogénicas, usando M-AMBI, en la Directiva Marco de Aguas europea. *Marine Ecology*, 30: 214-227.
- Borja, A., B.G. Tunberg, 2010. Determinación de la salud bentónica en estuarios estresados subtropicales, en el este de Florida, USA, usando AMBI y M-AMBI. *Ecological Indicators*.

- Impactos en los medios de comunicación:

Desde la publicación de AMBI se contabilizan numerosos impactos en la prensa y medios de internet. Como dato significativo, sólo entre **marzo y junio de 2010 se contabilizan 13 noticias** en medios de comunicación especializados en divulgación científica tales como la Asociación Española de Comunicación Científica, El blog de la Directiva Marco del Agua, Servicio de Información y Noticias Científicas, Basque Research, Cordis, Alphagalileo, Euskadinnova, etc. **(Ver Anexo 3)**.

Google proporciona 24,500 resultados de las palabras ‘AMBI’ y ‘AZTI’. Son también **numerosos los impactos en la prensa generalista**, en el periodo 2003-2009, en diarios como ‘El Correo’, ‘Diario Vasco’, ‘Gara’, etc., y en webs de numerosos centros de investigación de todo el mundo.