

## EL IMPACTO ACÚSTICO DE LOS PARQUES EÓLICOS EN LOS ECOSISTEMAS Y ESPECIES MARINAS

Víctor Espinosa

Institut de Investigació per a la Gestió Integrada de Zones Costaneres, Universitat Politècnica de València,  
C/ Paranimf, 1, 46730 Grau de Gandia, España  
vespinos@upv.es

### Resumen

El impacto acústico de nuevas actividades en el medio marino, como la construcción y operación de parques eólicos marinos es uno de los aspectos que precisan de más investigaciones para la caracterización de las fuentes de ruido, el efecto de su superposición y propagación, y la posible afectación a diferentes ecosistemas. Las pocas medidas subacuáticas publicadas muestran altos niveles emitidos a muy bajas frecuencias (desde los infrasonidos a unos pocos cientos de herzios) con la consecuente preocupación por la sensibilidad de diferentes especies a las mismas, la posible propagación a largas distancias y la formación de focalizaciones.

Un gran esfuerzo se está realizando a nivel europeo, tanto a nivel de proyectos de investigación colaborativos como de grupos de trabajo de la comisión europea, para estandarizar las metodologías de medida y monitorización del ruido submarino, y así cumplir con los indicadores de un buen estado ambiental del medio marino definidos a partir de la directiva europea.

**Palabras clave: ruido submarino, parques eólicos, impacto acústico**

### Abstract

The acoustic impact of new activities developed at the sea, like building and operation of offshore wind farms, is one of the issues lacking of investigation to characterize the sources properties, the superimposition and propagation, and the possible ecosystems affectation. The few published underwater measurements show high source levels at very low frequencies (from infrasound to few hundreds of Herz), with the consequent worries because of the different species sensitivity to those frequencies, the long distance propagation and caustic formation possibilities.

A strong effort is being developed in Europe, both through collaborative european research projects and european comission's task groups, to standarize the methologies for measuring and monitoring underwater nois, and therefore to accomplish the good environmental state indicators derived from the european directive.

**Keywords: underwater noise, offshore windfarm, acoustic impact**

**PACS no. 43.30.+m, 43.50.+y, 43.80.+p**

# 1 Introducción

La Directiva Marco de Estrategia Marina 2008/56/CE por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio ambiente marino [1], determina que los estados miembros deben tomar las medidas oportunas para lograr un nivel sostenible de la utilización de los mares para 2020, en el que se exige, entre otras, que los vertidos antropogénicos de sustancias y energía en el medio marino, incluido el ruido, no generen contaminación. En España se ha realizado la transposición de esta directiva a la Ley 41/2010, del 29 de diciembre, de protección del medio marino. Esta ley introducirá las estrategias marinas como la herramienta básica para la planificación de las actividades, y éstas deberán incluir consideraciones al ruido, su regulación e impacto, niveles máximos y medidas de mitigación. Todas estas estrategias tienen como objetivo lograr una protección de los ecosistemas, y el restablecimiento de las áreas degradadas, así como la garantía de una sostenibilidad de las actividades económicas relacionadas con el medio para el año 2020.

La Directiva Marco exigía que la Comisión Europea (CE) fijara los criterios y estándares metodológicos que permitiesen una aproximación consistente en la evaluación de la consecución del buen estado ambiental (GES, Good Environmental Status), y para ello se establecieron once Descriptores cualitativos y se formaron otros tantos grupos de expertos de las cuatro regiones marinas europeas (Mar Báltico, Atlántico nor-oriental, Mediterráneo y Mar Negro) que deberían establecer los indicadores y metodologías pertinentes para los siguientes descriptores del buen estado ambiental:

Descriptor 1: Se mantiene la diversidad biológica

Descriptor 2: Las especies no indígenas no alteran los ecosistemas

Descriptor 3: Las poblaciones de peces/mariscos comerciales se mantienen en niveles saludables

Descriptor 4: Los elementos de las cadenas alimentarias aseguran la sostenibilidad y la reproducción

Descriptor 5: La eutrofización es limitada

Descriptor 6: La integridad del fondo marino (a nivel físico, químico y biológico) asegura la salvaguarda de las funciones y estructuras de los ecosistemas, en especial el ecosistema bentónico.

Descriptor 7: Los cambios permanentes en las condiciones hidrográficas no afectan a los ecosistemas.

Descriptor 8: El nivel de contaminantes no causa efectos de polución permanente

Descriptor 9: Los contaminantes presentes en el pescado y marisco no exceden los valores máximos fijados por la legislación europea y otros estándares relevantes.

Descriptor 10: Las propiedades y cantidad de la basura presente en el mar no causan daño al medio ambiente marino y costero.

Descriptor 11: La introducción de energía, incluido el ruido submarino, se mantiene en niveles que no afectan de manera adversa al medioambiente marino.

La relevancia con que quedan recogidas las emisiones acústicas en la directiva europea, es reflejo directo del papel que la acústica juega en el medio acuático. A través de las ondas acústicas se comunican entre sí los miembros de diversas especies, particularmente los mamíferos marinos, y se detectan mutuamente presas y depredadores. El medio acuático es especialmente “favorable” para la propagación del sonido, en comparación con la atmósfera, con una velocidad de propagación cinco veces superior (1500 m/s vs 340 m/s) y una atenuación tres órdenes menor ( $10^{-5}$  dB/m a 1kHz). Si sumamos este hecho a que el medio de propagación está limitado por el fondo marino y la superficie del agua, a que no es ni homogéneo ni isótropo, y la velocidad del sonido se ve afectada por las

variaciones de la temperatura, la salinidad y la presión, nos encontramos con una insonificación inhomogénea del medio, con trayectorias múltiples para las señales emitidas debidas a la refracción y a las reflexiones en los límites del mismo, generándose ecos parásitos e interferencias. Por tanto, es también un medio que favorece la propagación de los sonidos de origen natural (el viento y las olas, la lluvia, los fenómenos sísmicos, etc) conformándose un nivel de ruido ambiental sujeto a una gran variabilidad.

Es en este contexto en el que las actividades tradicionalmente desarrolladas por el hombre, como la navegación, la construcción de infraestructuras, las explotaciones petrolíferas, las maniobras y acciones militares, o la pesca, contribuyen al nivel de ruido ambiental convirtiéndose localmente en ocasiones en la fuente prominente (ver Fig. 1), y la generalización de las nuevas actividades desarrolladas en los últimos años, vinculadas a la generación de energía eólica, o de aprovechamiento de corrientes y mareas, pueden suponer un aumento notable de esa contribución.

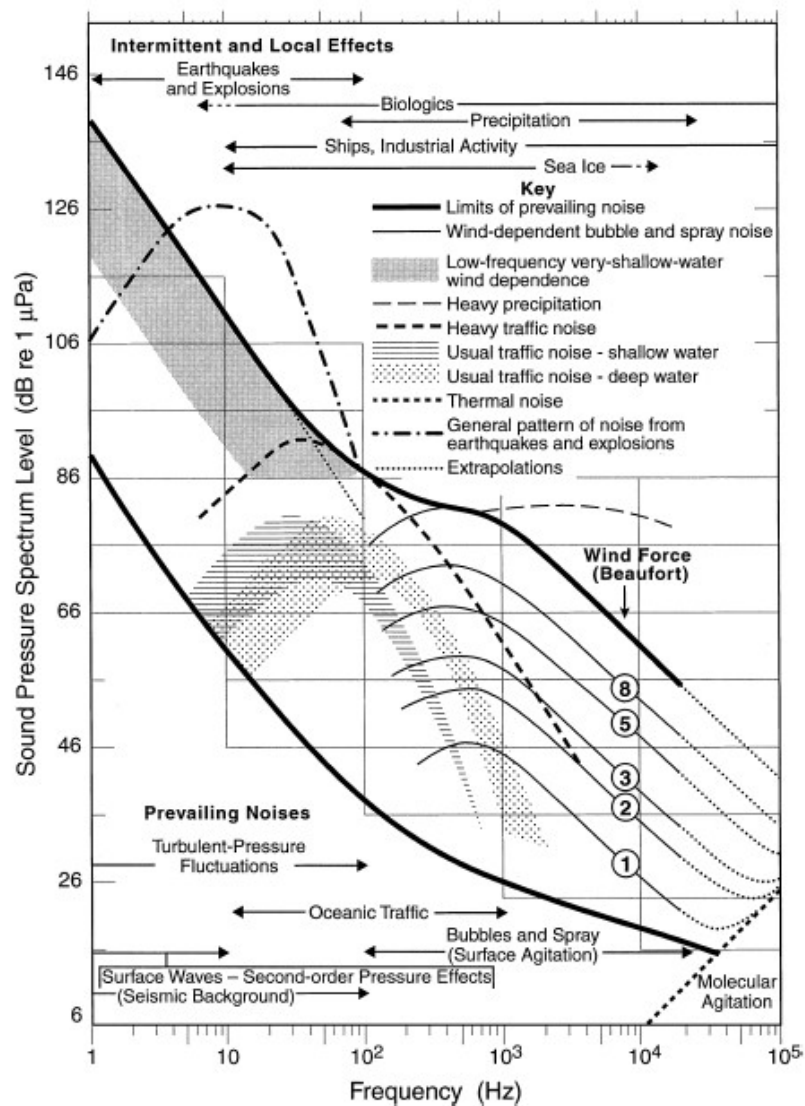


Figura 1 – Típicos niveles de presión de los ruidos de fondo en el océano a diferentes frecuencias, según las medidas de Wenz (1962) [2]. Fuente: Ocean Noise and Marine Mammals. National Academy Press, Washington, D.C. by the National Academy of Sciences.

El ruido de origen antropogénico puede ser de corta duración, de carácter impulsivo (como los generados en prospecciones geológicas, explosiones, instalación de pilastras para plataformas o molinos, etc) o de larga duración, continuo (como el resultante de dragados, de la navegación de buques o instalaciones energéticas, por ejemplo), y los niveles de uno y otro tipo han sido asumidos como indicadores del buen estado ambiental por la CE. El informe final del subgrupo técnico de expertos en ruido submarino y otras formas de energía (TSG Noise), publicado este mismo febrero de 2012 [3], constituye una buena referencia para la comprensión de la terminología y metodología de la acústica submarina, una exhaustiva revisión del estado del arte de las investigaciones sobre ruido submarino y sus efectos sobre las poblaciones y ecosistemas, y una guía para los estados miembros de la UE para aclarar el propósito, el uso y limitación de ambos indicadores y de los métodos a aplicar de manera no ambigua, efectiva y, sobre todo, aplicable. Asimismo marca el camino a seguir en el desarrollo de criterios y metodologías, así como en la necesidad de futuras investigaciones. En esta comunicación se revisa el caso del ruido generado por las diferentes fases de vida de un parque eólico marino (construcción, operación y desmantelamiento), la información disponible de los estudios previos de caracterización de las emisiones de los molinos marinos, tanto de medidas como modelos de propagación, y de sus efectos sobre la fauna y los ecosistemas.

## 2 Emisiones acústicas de los aerogeneradores marinos

### 2.1 Los molinos como fuentes de ruido

La Figura 2 ilustra esquemáticamente el tipo de aerogenerador marino más implantado en la actualidad, sobre una o varias pilastras ancladas al fondo marino en profundidades máximas de 30 a 40 m. Este esquema refleja la estructura predominante en los cientos de generadores emplazados

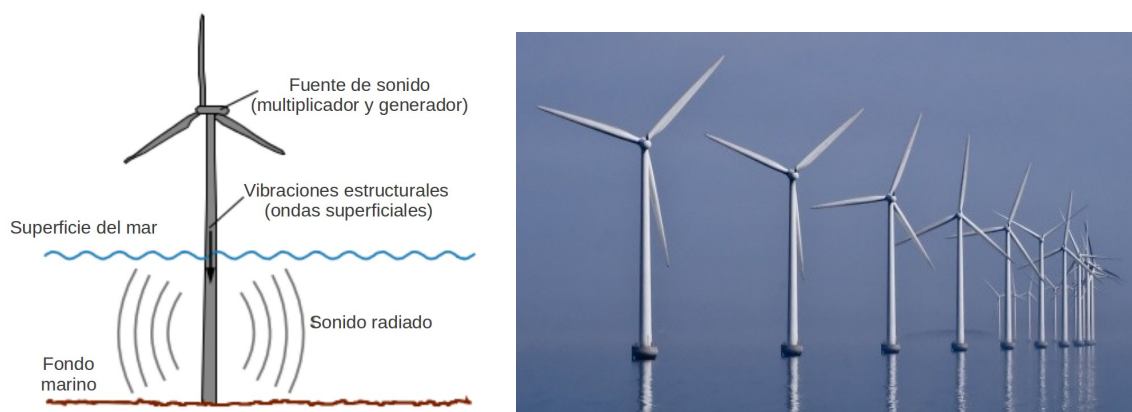


Figura 2 – Estructura típica de un aerogenerador mono-pilastra, como los fotografiados por Kim Hansen (Licencia Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0), que radia en el agua al transmitirse a través de la misma las vibraciones generadas por los elementos mecánicos situados en la góndola.

principalmente en el Mar Báltico, Mar del Norte, Mar de Irlanda y Canal de la Mancha. La Figura 3. ilustra las principales zonas de implantación y número de turbinas operativas y en proyecto ya en el año 2009. Una actualización de todas las instalaciones y el estado de todos los proyectos autorizados a nivel mundial puede visitarse en el servidor <http://www.4coffshore.com/offshorewind/>.

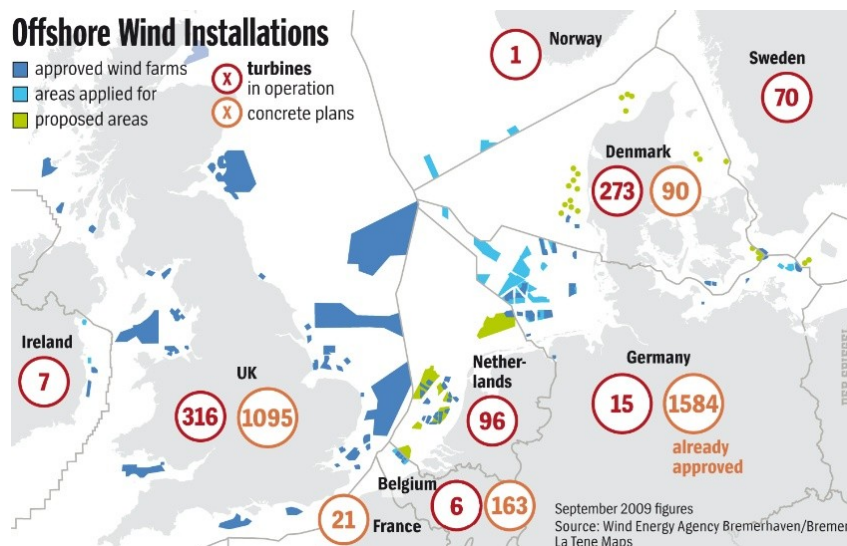


Figura 3. Mapa de las principales instalaciones de aerogeneradores marinos operativas en Europa en Septiembre de 2009. Fuente: Windenergie Agentur Bremerhaven

Las escasas caracterizaciones del ruido submarino emitido por aerogeneradores marinos operativos se han realizado para el caso de torres mono-pilastra, que incurren en la posibilidad de emisión de los dos tipos de ruido submarino descritos como indicadores del GES:

- Ruidos impulsivos de alta, baja y media frecuencia, durante la instalación de las pilastras (ampliamente caracterizado con anterioridad a la aparición de los aerogeneradores en instalaciones de plataformas marinas) superpuestos a los de otras actividades complementarias [4-9]
- Ruido continuo de baja frecuencia, en su fase de operación [10-12]

En [3] se define como ruido impulsivo aquel cuyos pulsos tienen una duración temporal efectiva menor a 10 segundos, y cuyo tiempo de repetición excede cuatro veces esa duración efectiva. En esa interpretación, aquellos sonidos de duración menor de 10 s y que no se repiten, también son impulsivos.

Las actividades ligadas a la instalación o desmantelamiento como el pilotaje o las explosiones, se ajustan a esta definición, y han sido estudiadas de manera profusa. En el caso concreto de instalación de un parque marino, Nedwell et al. [4] midieron los niveles de ruido y vibración submarinos durante la fase de construcción de dos parques eólicos marinos en Reino Unido: North Hoyle y Scroby Sands (Fig.4). Obtuvieron niveles de presión hasta 260 dB re 1  $\mu$ Pa a 1 m de la fuente durante la cimentación de los aerogeneradores. Los efectos de dichos niveles impulsivos sobre mamíferos marinos y otras especies han sido estudiados con motivo de la evaluación del impacto de estudios sísmicos o de sónares militares y serán referidos en la siguiente sección.

Más escasos son los estudios dedicados a la operación de los aerogeneradores, y al ruido continuo de baja frecuencia asociado a las vibraciones estructurales de los mismos. Durante la fase de funcionamiento, el nivel de ruido generado va a depender diversos factores, como el número y potencia de los aerogeneradores, su diseño estructural, el tipo de anclaje al fondo, la velocidad del viento, la profundidad, el tipo de fondo, etc. En diversos trabajos [10-12] se muestran gráficos de las

distribución espectral de los niveles sonoros medidos para diferentes generadores como se muestra a continuación (Fig. 5), con una gran variabilidad en los resultados, y siendo mediciones previas a las recomendaciones de [3], con metodologías de trabajo bien diversas.

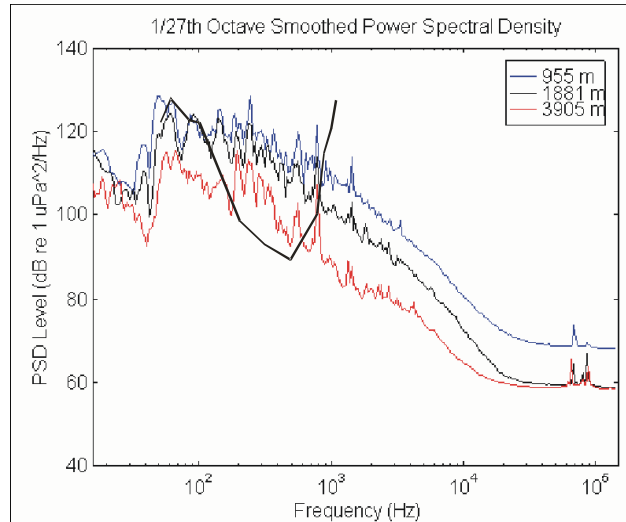


Figura 4.- Espectro de densidad de potencias medido a tres distancias durante la fase de cimentación mono-pilastra en el parque eólico de North Hoyle (a partir de Nedwell *et al.* 2003).

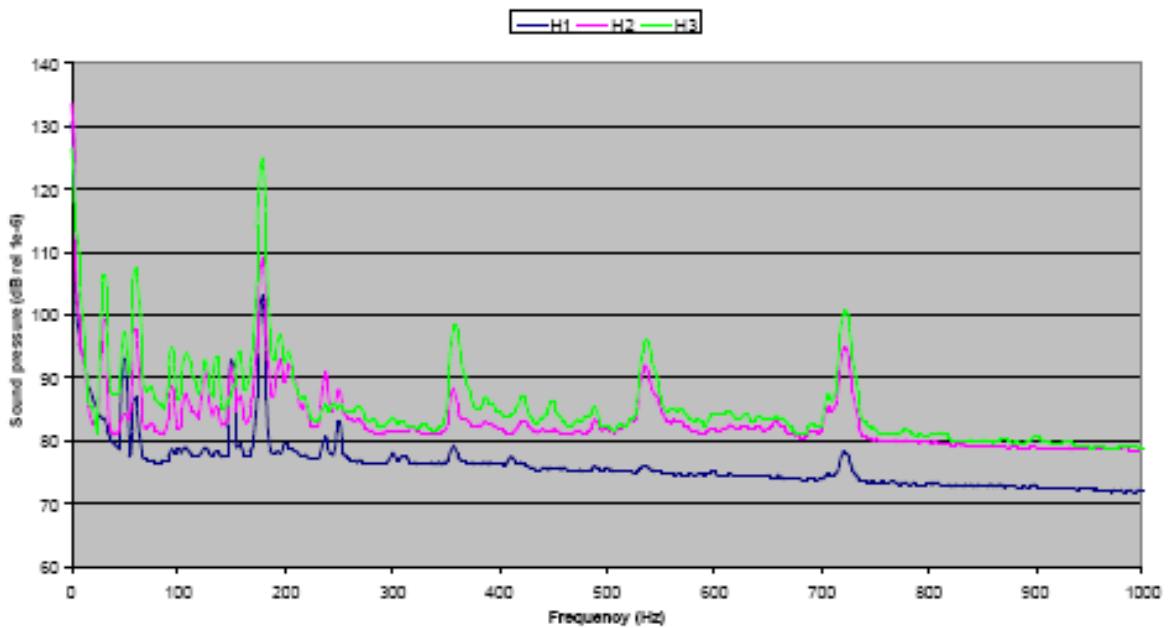


Figura 5.- Ruido submarino originado por un aerogenerador en el parque eólico marino de Utgrunden, medido a 83, 160 y 463 m de la turbina. Velocidad de viento 11-14 m/s. [10]

Se aprecia que el ruido generado por una turbina suele tener un espectro muy ancho y niveles considerables, apareciendo picos muy significativos a bajas frecuencias y en la banda de los infrasonidos (con niveles máximos de 153 dB re 1 µPa a 1 m a 16 Hz.). No obstante, no se dispone de

suficientes datos de los niveles que generarían un conjunto de estos aerogeneradores trabajando simultáneamente.

Asimismo, la tendencia tecnológica actual es incrementar la potencia y tamaño de los generadores, a la vez que desplazarlos más lejos de la costa para reducir su impacto visual, optando por sistemas de aerogeneradores flotantes con diferentes configuraciones (ver por ejemplo la Figura 6). Escalar en potencia y tamaño un aerogenerador, resulta en un desplazamiento hacia bajas frecuencias de su espectro radiado, lo que se ha confirmado en recientes estudios sobre generadores terrestres [13]. Si unimos este hecho a la diferente geometría de la fuente (exenta de un anclaje rígido al fondo) y su situación a mayor profundidad, se concluye que no existe información que permita predecir su efecto y que son necesarias más medidas y simulaciones al respecto.



Figura 6. Sistemas de aerogeneradores flotantes: a la izquierda el prototipo Windfloat 1 instalado en junio de 2012 frente a Póvoa do Varzim (Portugal); a la derecha, una idealización del sistema noruego Sway, basado en boyas con contrapesos profundos.

## 2.2 Modelos de propagación

Numerosos esfuerzos se están realizando para una predicción del campo acústico submarino, principalmente de las geometrías de parques como el ilustrado en la Fig.2. Dichos esfuerzos van desde las visiones más simplificadoras del problema, asumiendo fuentes cilíndricas emitiendo en una guía de onda conformada por la superficie del mar y el fondo marino, y la superposición incoherente de las fuentes presentes, al uso de los diferentes modelos de propagación de rayos, modales o de la aproximación parabólica de la ecuación de Helmholtz [13].

La aplicabilidad de los diferentes modelos en función de la frecuencia de estudio, rango y profundidad marinas, es discutida con profusión en [14], y podemos señalar que el problema de simulación de los parques marinos está directamente relacionado con la frontera de aplicación de los modelos de rayos y ondulatorios: aun siendo de alguna manera arbitrario se considera que, sobre el umbral frecuencial de 500 Hz muchos modelos basados en la teoría ondulatoria se convierten en computacionalmente muy costosos, y de la misma manera, bajo este umbral, la física de algunos modelos basados en el trazado de rayos empieza a ser cuestionable debido a ciertas asunciones muy restrictivas.

Los más recientes trabajos reflejan la dificultad de un análisis riguroso, planteando aproximaciones bien diferentes: Hovem et al. [16] recurren a un programa de trazado de rayos coherente para el rango entre 25 y 300 Hz válido para el tratamiento de distribuciones espaciales de ruido de tipo impulsivo. El ruido impulsivo de la instalación de pilastras ha sido también recientemente simulado mediante un modelo híbrido de elementos finitos para la vibración de carácter local de las pilastras, y teniendo en cuenta las funciones de Green de una fuente anular para la propagación a larga distancia. La conexión

entre ambas descripciones se realiza a través de la integral de Hemholtz. La propagación a larga distancia, tanto del ruido de instalación de pilastras como del ruido operacional ha sido también recientemente estudiada a través de un modelo combinado de elementos finitos y de la aproximación parabólica, teniendo en cuenta el efecto de diversos sedimentos en el fondo marino [18]. Se trata de una disciplina tremendamente activa que en la actualidad concita a administraciones, empresas y científicos, dado que ante la dificultad de realizar mediciones en el medio marino, la simulación numérica y las herramientas de predicción devienen herramientas fundamentales .

### 2.3 Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación del ruido generado al instalar los pilares ha sido uno de los aspectos más tratado en el campo, por su elevado nivel y posibles efectos sobre la fauna, especialmente los mamíferos marinos. Al margen de las actuaciones a nivel de diseño de nuevos generadores para reducir las vibraciones mecánicas de los mismos, dos estrategias fundamentales se han abordado con este fin:

- modificación del procedimiento de instalación (alargando el tiempo de contacto al golpear las pilastras, o utilizando vibradores para pilotes menores) [9, 19]
- recubrimientos absorbentes en las pilastras [9, 19]
- utilización de pantallas acústicas basadas en columnas de burbujas (bien generadas en el fondo o encapsuladas en láminas) [9, 19, 20]

Particularmente exitosa se muestra la utilización de pantallas de burbujas de aire con un contraste de impedancias de tres órdenes de magnitud con el agua. En [20] se refiere una atenuación media de los impactos en las pilastras en 14 dB de los valores pico-a-pico, si bien con una gran variabilidad.

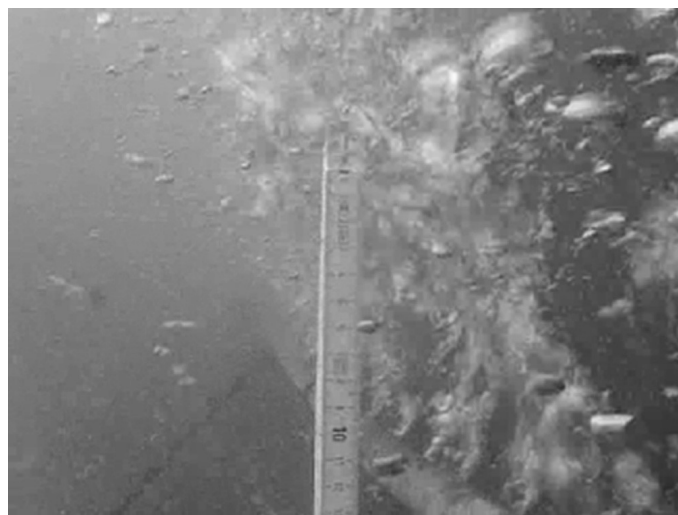


Figura. 7 Cortina de burbujas de aire empleada en [20], generada con una conducción circular sumergida



### 3 El impacto sobre las especies y ecosistemas

La evaluación del impacto de las fuentes de ruido antropogénico sobre las diferentes especies y sobre la dinámica de los ecosistemas es probablemente uno de los aspectos más complejos de los estudios de impacto ambiental. Una vez se han caracterizado las fuentes sonoras, se ha elegido la zona de estudio y se han medido o predicho los niveles de presión sonora para las diferentes frecuencias, el siguiente paso es preguntarse por la fauna presente en la zona, su distribución espacial y dinámica, y cuáles son los niveles sonoros a los que van a estar expuestos. Los mecanismos por los que los animales marinos perciben el sonido son muy distintos en función de la especie, y sus umbrales auditivos muy distintos.

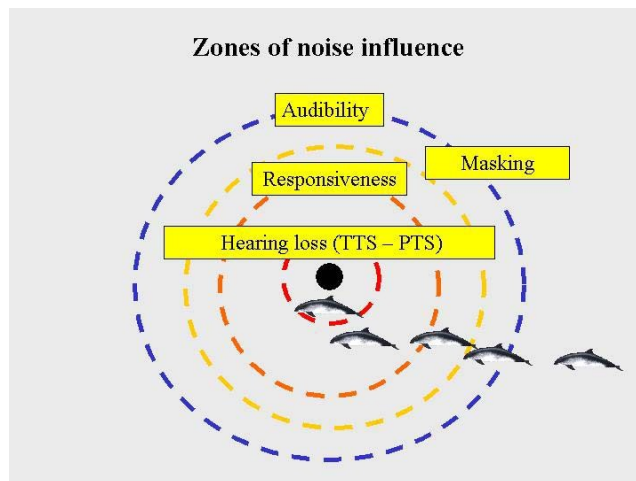


Figura 8. Zonas de influencia del ruido sobre los animales [21]

El primer umbral es el de la percepción, que sólo puede determinarse mediante complejos métodos de respuesta fisiológica. Después, y de manera que puede darse primero uno o el otro, estarían el umbral de respuesta (cambio en el comportamiento) y el umbral de enmascaramiento (el animal no puede oír otros sonidos, como los utilizados para comunicarse entre su especie), y finalmente el umbral de daño fisiológico temporal o permanente (desorientación, pérdida de audición parcial o total, daños en tejidos, etc). En el caso de los aerogeneradores, la mayor preocupación al respecto de los daños fisiológicos, la constituyen los ruidos impulsivos de la construcción por su alto nivel, mientras que el ruido operacional puede plantear problemas con el comportamiento y el estrés psicológico, aunque no se descartan efectos acumulativos. Una buena revisión al respecto puede encontrarse en [21, 22].

De las Figuras 9 y 10 debe hacerse notar la mayor sensibilidad de los peces a las bajas frecuencias, incluidos los infrasonidos presentes en los espectros emitidos durante la fase operacional de los molinos. De hecho los infrasonidos forman parte de los mecanismos de relación entre depredadores y presas, y un aumento del ruido ambiental puede alterar la dinámica de los mismos.

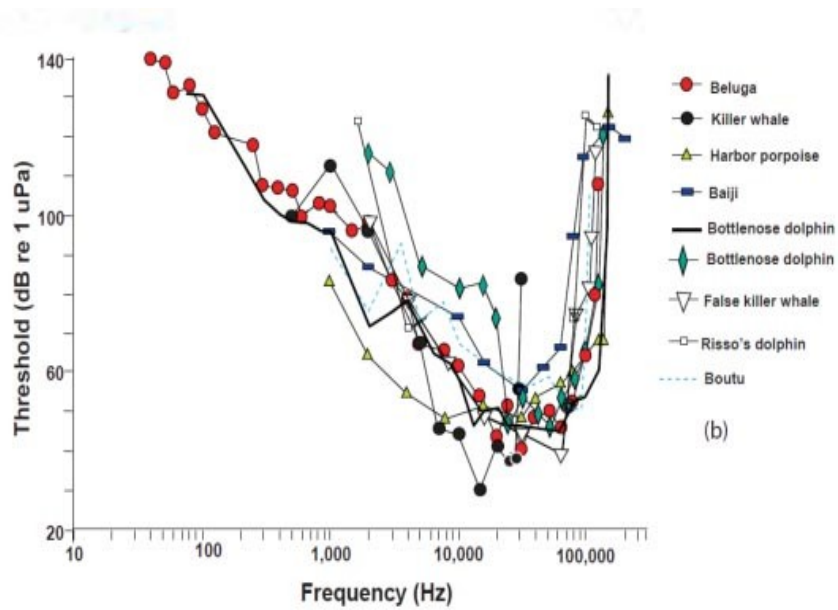


Figura 9. Curvas de audición de algunos mamíferos dentados (odontocetes) [22]

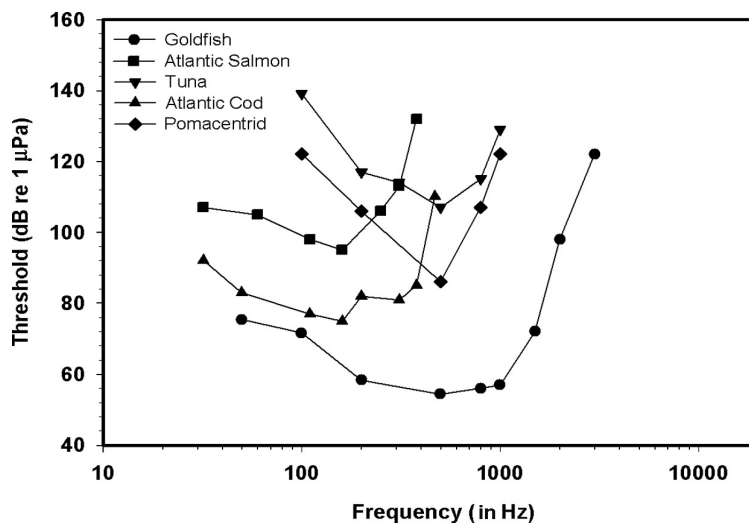


Figura 10. Umbrales de audición de diferentes especies de peces; nótese la mayor sensibilidad a muy bajas frecuencias [23]

## 4 Conclusiones

Las nuevas actividades humanas en el medio marino como la instalación de aerogeneradores suponen un riesgo para el buen estado medioambiental de los ecosistemas. La complejidad de los estudios de impacto precisa de una estandarización metodológica y de nuevas investigaciones. La definición de indicadores de calidad, incluidos los referidos al ruido submarino, y el trabajo coordinado de administraciones, empresas y e instituciones de investigación son necesarios para mantenerlo, y aprovechar los recursos naturales de manera sostenible.

## Referencias

- [1] [http://ec.europa.eu/environment/marine/eu-coast-and-marine-policy/marine-strategy-framework-directive/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/marine/eu-coast-and-marine-policy/marine-strategy-framework-directive/index_en.htm).
- [2] Wenz, G.M. Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 34 (12), 1962, 1936-1956.
- [3] Van der Graaf, A.J.; Ainslie, M.A.; André, M.; Brensing, K.; Dalen, J.; Dekeling, R.P.A.; Robinson, S.; Tasker, M.L.; Thomsen, F.; Werner, S.; European Marine Strategy Framework Directive -Good Environmental Status (MSFD GES): Report of the Technical Subgroup on Underwater noise and other forms of energy, 2012.
- [4] Nedwell, J., et. al. Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife: initial measurements of underwater noise during construction of offshore windfarms, and comparison with background noise. Report No 544 R 0424. Cowrie, 2003.
- [5] Richardson, W.J.; Greene, C.R.; Malme, C.I.; Thompson, D.H.; *Marine mammals and noise*. Academic Press, San Diego, 1995.
- [6] Norro, A.; Haelters, J.; Rumes, B. & Degraer, S.; Underwater noise produced by the piling activities during the construction of the Belwind offshore wind farm (Bligh Bank, Belgian marine waters). In: Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.). *Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: early environmental impact assessment and spatio-temporal variability*. Royal Belgian Institute of Natural Sciences , Management Unit of the North Sea Mathematical Models, Marine ecosystem management unit. Chapter 4: 37-51. 2010
- [7] Madsen, P.T. et. al., Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs. *Marine Ecology Progressive Series*. 309 (2006): 279-295.
- [8] Reinhall, P.G.; Dahl, P.H.; Underwater Mach wave radiation from impact pile driving: Theory and observation, *J. Acoust. Soc. Am.* 130 (3), September 2011
- [9] Elmer K.-H. et al., Measurement and Reduction of Offshore Wind Turbine Construction Noise *DEWEK 2006 Conference* , Bremen, 22-23 November 2006
- [10] *Ingemansson Technology AB, 2003*. Utgrunden offshore wind farm. Measurements of underwater noise. June 2003.
- [11] Betke, K. Measurement of underwater noise emitted by an offshore wind turbine at Horns Rev. Report from ITAP – *Institute für technische und angewandte Physik GmbH*. 2006.
- [12] Nedwell, J.; Howell, D. A review of offshore windfarm related underwater noise sources. *Cowrie Rep 544 R*, 2004, 0308:1–57
- [13] Møller, H. and Pedersen, C. S., Low-frequency wind-turbine noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 129 (6), June 2011
- [14] Etter, P., Advanced Applications for Underwater Acoustic Modeling, *Advances in Acoustics and Vibration*, Vol. 2012, Article ID 214839, 28 pages, doi:10.1155/2012/214839
- [15] P. C. Etter, *Underwater Acoustic Modeling and Simulation*, Spon Press, London, UK, 3rd edition, 2003.
- [16] Hovem, J. and Tronstad, T.V.; Propagation of anthropogenic noise in the ocean , Scandinavian Symposium on Physical Acoustics, Geilo, 2011, ISBN 978-82-8123-012-5

- [17] Mario Zampolli, M; Nijhof, M.J.J.; Ainslie, M.A.; De Jong, C:F.J.; Jansen, E.H.W.; Abawi, A.T.; Quantitative predictions of impact pile driving noise in water using a hybrid finite-element propagation model . ASA Conference 2012 Honk- Kong, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 131(4) , Pt. 2, April 2012
- [18] Kim, H.;Potty, G.R.; Miller, J.H.; Smith, K.B.; Dossot, G.; Long range propagation modeling of offshore wind turbine noise using finite element and parabolic equation models. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 131, No. 4, Pt. 2, April 2012 .
- [19] Nehls, G.; Betke, K.; Eckelmann, S.; Ros , M.; 2007, Assessment and costs of potential engineering solutions for the mitigation of the impacts of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms . BioConsult SH report, Husum, Germany. On behalf of COWRIE Ltd. ISBN-13: 978-0-9554279-4-7
- [20] Lucke et al., The use of an air bubble curtain to reduce the received sound levels for harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) , *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 130 (5), Pt. 2, November 2011
- [21] Thomsen, F., Lüdemann, K., Kafemann, R. and Piper, W., 2006. Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish, biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd.
- [22] Wartzok, D. and D. R. Ketten. 1999. Marine Mammal Sensory Systems. Pp. 117-175 in *Biology of Marine Mammals* (J. E. Reynolds III and S. A. Rommel, eds.), Smithsonian Institute Press.
- [23] Webb, F. ; Fay., R.R.; Popper, A.N. Eds. *Fish bioacoustics* 2007, Springer, ISBN-978-0-387-73028-8