

# **EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO SUBACUÁTICO DE UN PARQUE DE TURBINAS EÓLICAS OFFSHORE**

**Esther Castiñeira Martínez<sup>[\*]</sup>, Katia María Argüelles Díaz<sup>[\*\*]</sup>**

<sup>[\*]</sup> Alumno; <sup>[\*\*]</sup> Tutora

[UO196520@uniovi.es](mailto:UO196520@uniovi.es)

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

## **RESUMEN**

El desarrollo de la energía eólica offshore en la búsqueda de nuevas formas de obtener energía renovable conlleva una serie de inconvenientes en cuanto a su interacción con el medio ambiente, entre los que se encuentra la emisión de ruido por parte de los aerogeneradores, el cual puede afectar tanto a especies animales como al hombre.

Este trabajo estudia el impacto acústico de dos configuraciones de parques eólicos offshore que se plantean como candidatos para su construcción en la Costa Cantábrica mediante el software Odeon Room Acoustics. Así, se obtienen los valores del SPL generados por los parques a distintas profundidades, los cuales se comparan con audiogramas de distintas especies marinas características del mar Cantábrico.

## **ABSTRACT**

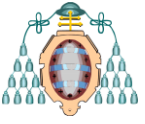
Offshore wind turbine energy development, in the search of new ways of obtaining renewable energy, involves a series of drawbacks with regard to its interaction with environment, among which is the noise emissions from the turbines, which can affect both animal species and human beings.

This paper studies the noise impact from two different offshore wind farms configurations which are candidates to be built in the Cantabrian Coast with the Odeon Room Acoustics software. Thus, SPL generated by wind farms at different depth are obtained, which are then compared to

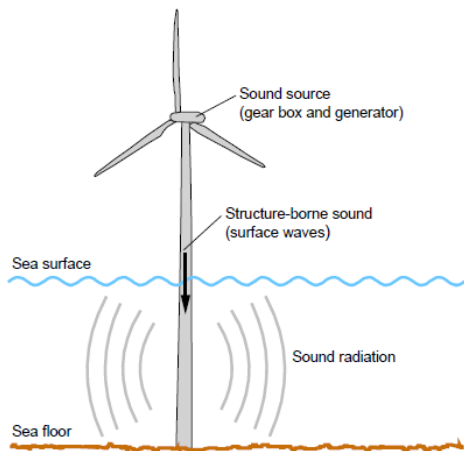
different typical of the Cantabrian Sea animal species' audiograms.

## **INTRODUCCIÓN**

El ruido generado por las turbinas eólicas es uno de los principales problemas para construir parques eólicos, ya que es un factor que afecta negativamente a la población y provoca rechazo por parte de la misma. Los parques eólicos offshore podrían ser un buen método para evitar este problema, ya que están situados lejos de los núcleos urbanos y, por tanto, el ruido afecta en menor medida a la población. En un trabajo previo de esta misma línea de investigación [1], se concluye que el ruido que llega a la costa desde los parques eólicos (tomando dos localizaciones concretas) queda muy por debajo de los valores límite admitidos por la norma, por lo que el ruido no afectaría a la población en zonas costeras. No obstante, el estudio del impacto acústico sobre la población no es suficiente, es necesario tener en cuenta otros receptores de ese ruido: la fauna marina. Estudios previos acerca del impacto que la construcción y operación de estos parques eólicos pueden tener sobre la fauna marina, como el de Madsen et al. [2] o el de Gabriel et al. [3], entre otros, coinciden en que el momento de la construcción, concretamente durante la instalación de los pilotes, es el más crítico en cuanto a la producción de ruido. En el trabajo de Snyder et al. [4], se señala que en el proceso de instalación de las turbinas se puede llegar a 228 dB, lo que a 400 m de distancia supondría un nivel de presión



sonora de 189 dB, causando ya pérdida de audición en las focas, y a partir de 1.8 km de distancia a la fuente de ruido, las marsopas podrían perder audición. En el trabajo de Gill [5] también se proporcionan datos sobre el impacto acústico de las obras de instalación, como la construcción de la base y el cableado, que producen ruido de hasta 260 dB re 1  $\mu$ Pa y 178 dB re 1  $\mu$ Pa, respectivamente. Estas fuentes de ruido podrían causar daños en el sistema auditivo de algunas especies a 100 m de la superficie. Los peces han demostrado respuestas de alarma al encontrarse con ruidos altos, por ejemplo, mayores de 150 dB re 1  $\mu$ Pa.



**Figura 1. Mecanismo de generación de ruido subacuático por una turbina eólica offshore**

El ruido de operación, en cambio, no parece ocasionar consecuencias tan perjudiciales en estos animales, pero se destaca la ausencia de estudios concluyentes que determinen si este ruido afecta a su comportamiento. De nuevo en el trabajo de Snyder et al. [4], se afirma que el ruido de las turbinas puede ser detectado por marsopas y focas desde aproximadamente 1 km, y podría estar relacionado con la disminución de especímenes en la zona. En el estudio realizado por Betke et al. [6], se indica que las mediciones obtenidas de una turbina eólica de 1.500 kW no afectan al órgano auditivo de los animales marinos, pero sí pueden afectar a su comportamiento. No obstante, también se debe tener en cuenta que turbinas de mayor capacidad producirán mayores vibraciones y, por tanto, más ruido.

Para estudiar la propagación del ruido en un medio subacuático y comprobar el impacto que

éste tiene sobre la fauna, existen varios métodos posibles de simulación. Una primera posibilidad consiste en utilizar programas informáticos para la simulación y el cálculo de la propagación acústica, como son Odeon Room Acoustics, CATT, EASE o CadnaA, basados todos ellos en el método de rayos acústicos. Otra opción consiste en hacer uso de herramientas de simulación implementadas en Matlab, tales como BELLHOP [7] o KRAKEN [8], entre otras. Finalmente, una tercera opción es estudiar la propagación acústica haciendo uso de la norma internacional ISO 9613-2 o el método de propagación de CONCAWE, como se refleja en el trabajo de Snow [9], adaptándolos para su uso en entornos acuáticos.

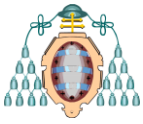
En este trabajo se pretende estudiar la propagación subacuática del ruido generado por dos diferentes parques eólicos situados en localizaciones de la Costa Cantábrica propuestas para la ubicación del parque eólico experimental E<sup>2</sup>O del Clúster de Energía, Medioambiente y Cambio Climático de la Universidad de Oviedo: Cabo Busto y Llumeres. Mediante el uso del software Odeon Room Acoustics se estudian los niveles de ruido de operación que podrían percibir los animales marinos al atravesar zonas próximas a los parques.

## MÉTODO DE TRABAJO

El estudio se realiza a partir de dos parques eólicos situados en dos diferentes localizaciones de la Costa Cantábrica, Cabo Busto y Llumeres.



**Figura 2. Localizaciones de los parques eólicos en la costa de Asturias**



Para el estudio del nivel sonoro que llega desde esos parques eólicos a diversos puntos de su entorno marino, tanto en la superficie como a diferentes profundidades, se realizan una serie de simulaciones con el software Odeon Room Acoustics. Este programa informático calcula las respuestas a fuentes puntuales utilizando un método de cálculo híbrido donde se calculan las primeras reflexiones mediante una mezcla entre el modelo de fuente *Imagen* y el trazado de rayos, y las reflexiones últimas mediante un proceso especial de trazado de rayos generando fuentes secundarias que radian energía localmente desde las superficies de las paredes [10]. En las simulaciones desarrolladas no se consideran los efectos del oleaje ni la dirección predominante del viento.

Puesto que el software Odeon Room Acoustics está específicamente diseñado para simular locales cerrados, es necesario construir un dominio cerrado representativo del parque eólico objeto de estudio. Por ello, se utiliza un prisma de base cuadrada de 2.000 m x 2.000 m. Este prisma está dividido en dos partes, una inferior que constituye la zona de agua en la que están situados los receptores, de altura 200 m, y una superior que constituye la zona de aire en la que están situadas las fuentes, de altura 80 m.

Como condiciones de contorno en las paredes del dominio considerado en las simulaciones, se utilizan los materiales incluidos en la biblioteca de Odeon. Las caras superiores del prisma están definidas como un material totalmente absorbente, de modo que las ondas no generen reflexiones que distorsionarían los resultados. Las caras inferiores están definidas como agua, y la cara correspondiente a la interfase entre aire y agua está definida como agua con la característica de transparencia, de modo que las ondas puedan atravesarla. Los coeficientes de scattering son los predeterminados por el programa.

Las turbinas eólicas consideradas como fuentes de ruido en las simulaciones, son turbinas de GAMESA, modelo G90, de 2 MW, con el buje situado a 78 m sobre la superficie del mar, [11] y [12]. Las turbinas se consideran fuentes puntuales y omnidireccionales, con la potencia acústica que se muestra en la Tabla 1 para diferentes frecuencias.

**Tabla 1. Potencia acústica de la turbina G90**

Frecuencia [Hz]	SPL [dB]
63	80.4
125	88
250	93.7
500	96.6
1000	96.4
2000	92
4000	83.1
8000	69.4

El parque de Cabo Busto consta de tres turbinas eólicas (fuentes de ruido puntuales) ubicadas en las posiciones mostradas en la Tabla 2. En este caso los receptores se sitúan en dos líneas a lo largo de las direcciones X e Y para ocho profundidades diferentes, tal y como se muestra en la Tabla 3.

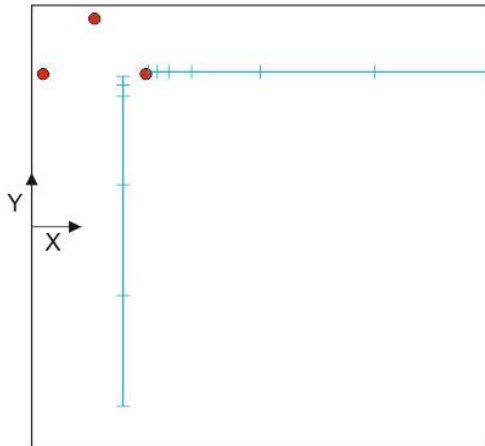
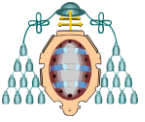
**Tabla 2. Coordenadas de las turbinas eólicas de Cabo Busto (en metros)**

Fuente	X	Y	Z
1	50	690	78
2	500	690	78
3	275	960	78

**Tabla 3. Coordenadas de los receptores de Cabo Busto (en metros)**

X								Y
510	550	600	700	1.000	1.500	2.000	700	
X	Y							
400	680	640	590	490	190	-310	-810	
Z								
0	-3	-6	-10	-15	-25	-50	-100	

La Figura 3 muestra un esquema de la vista superior de este parque. Los puntos rojos corresponden a las posiciones de las turbinas eólicas, mientras que las líneas azules representan las líneas a lo largo de las cuales se han posicionado los receptores (marcados con cruces en la figura).



**Figura 3. Vista superior del parque eólico de Cabo Busto**

El parque eólico de Llumeres consta de cinco turbinas eólicas cuyas coordenadas respecto a los ejes X, Y, Z se muestran en el Tabla 4.

**Tabla 4. Coordenadas de las turbinas eólicas de Llumeres (en metros)**

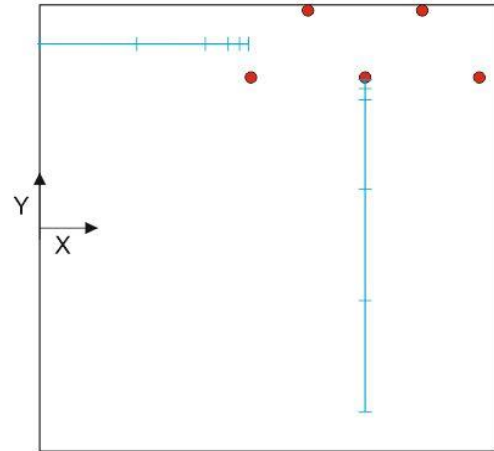
Fuente	X	Y	Z
1	925	675	78
2	1.175	975	78
3	1.425	675	78
4	1.675	975	78
5	1.925	675	78

Al igual que para el parque de Cabo Busto, los receptores se han posicionado en dos líneas a lo largo de las direcciones X e Y, pero para tomar como referencia la misma extensión considerada en el caso de Cabo Busto (2.000 m x 2.000 m), se ha considerado una columna menos de receptores en la dirección X. En la Tabla 5 se muestran las coordenadas de los receptores considerados en el parque de Llumeres.

**Tabla 5. Coordenadas de los receptores de Llumeres**

X						Y	
915	975	925	725	425	0	1.425	
X	Y						
825	665	625	575	475	175	-325	-825
Z							
0	-3	-6	-10	-15	-25	-50	-100

La Figura 4 muestra de forma esquemática la vista superior del parque eólico de Llumeres, donde, al igual que en el caso anterior, los círculos rojos representan las turbinas eólicas y las cruces azules los receptores.



**Figura 4. Vista superior del parque eólico de Llumeres**

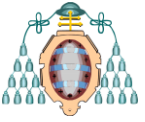
Para todos los receptores se han obtenido los valores del SPL (Sound Pressure Level) para un espectro de frecuencias de 63 a 8.000 Hz. Además, también se obtiene el SPL ponderado en A, SPL(A), en una malla situada a diferentes profundidades, lo que permite estimar de forma visual la propagación del ruido a lo largo de la superficie de estudio considerada.

Finalmente, los valores del SPL se comparan con audiogramas de animales marinos. Estos audiogramas representan el nivel de ruido a partir del cual el oído percibe el sonido. De este modo, es posible buscar interferencias y niveles de ruido que pudieran ser conflictivos para la fauna característica de la zona.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

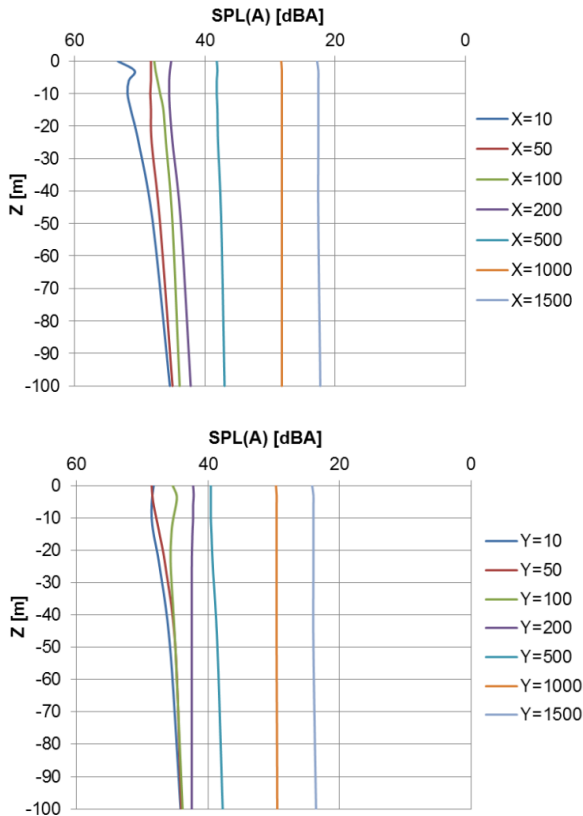
Para el análisis de los resultados que se muestran a continuación no se han considerado las coordenadas globales X e Y de los receptores, sino la *distancia relativa* de cada receptor a la turbina eólica más cercana, con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados.

### Cabo Busto



En primer lugar, se presentan los resultados obtenidos mediante las simulaciones en Odeon para el parque eólico de Cabo Busto.

La Figura 5 muestra la variación del SPL(A) con la profundidad Z a lo largo del eje X (Figura 5a) y a lo largo del eje Y (Figura 5b).

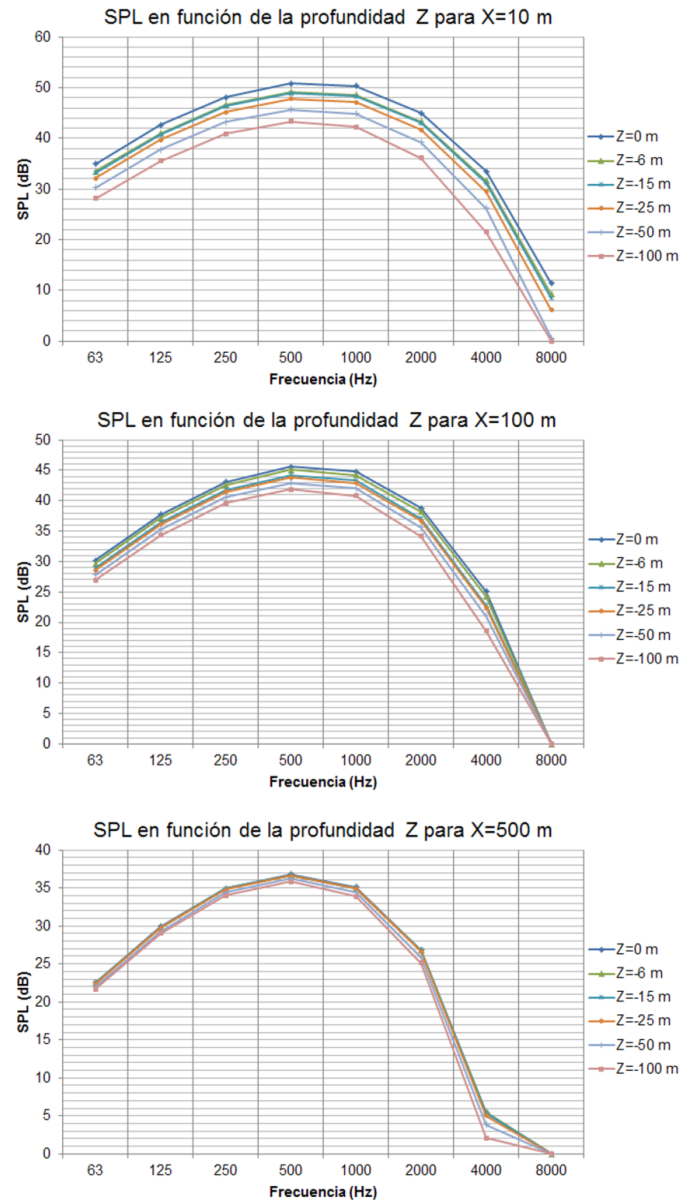


**Figura 5. Variación del SPL(A) con la profundidad:**  
**a) distribución a lo largo del eje X; b) distribución a lo largo del eje Y.**

Como puede observarse en la Figura 5, el valor del SPL(A) disminuye a medida que aumenta la distancia a la fuente de ruido y la profundidad, tal y como era de esperar, y además se mantiene prácticamente constante con la profundidad para distancias suficientemente alejadas de las turbinas eólicas.

La Figura 6 muestra el espectro de frecuencia de la variación del SPL con la profundidad para distintos receptores situados a lo largo del eje X, en concreto para distancias de 10, 100 y 500 m desde las turbinas eólicas. También en este caso es clara la tendencia del SPL a disminuir a medida que aumenta la profundidad,

efecto que, lógicamente, es menos apreciable cuanto mayor es la distancia a las turbinas eólicas.



**Figura 6. Espectros de frecuencia del SPL en función de la profundidad: a) X = 10m; b) X = 100m; c) X = 500m.**

La Figura 7 muestra las gráficas equivalentes a las de la Figura 6, pero considerando la distancia en el eje Y en lugar de en el eje X. Se puede ver que los espectros de frecuencia en función de la profundidad difieren menos en la dirección Y que en la X.



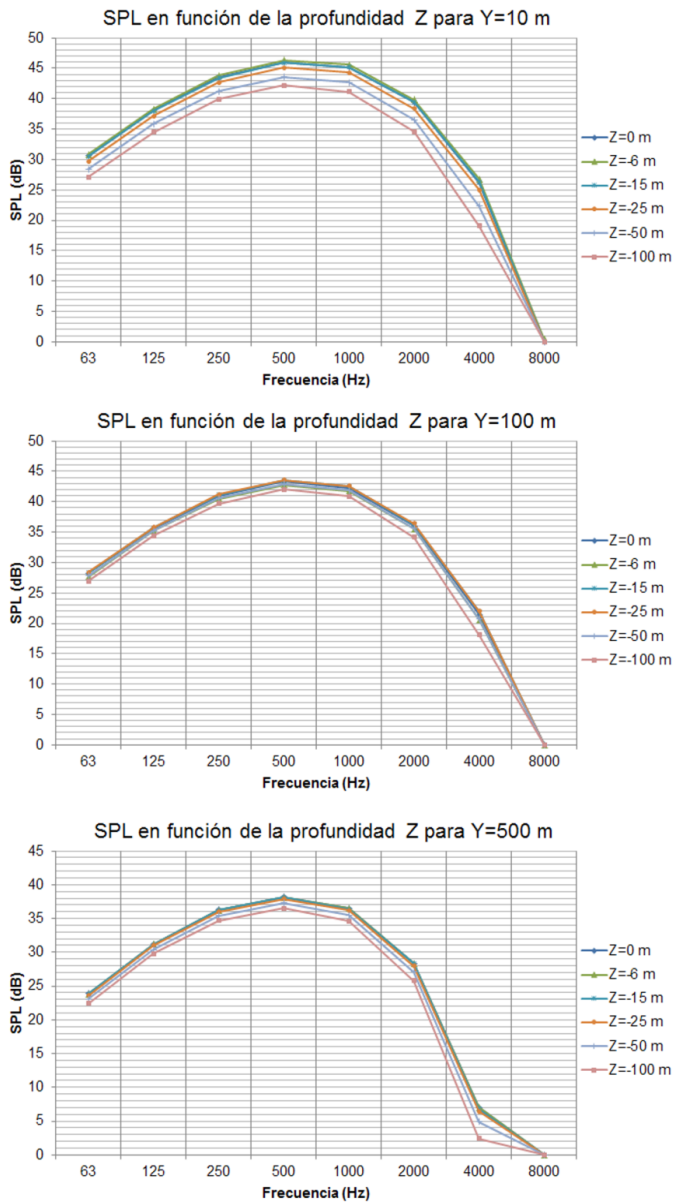
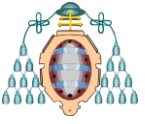


Figura 7. Espectros de frecuencia del SPL en función de la profundidad: a) Y = 10m; b) Y = 100m; c) Y = 500m.

Las gráficas mostradas en las Figuras 8 y 9 corresponden a la variación del espectro de frecuencia del SPL en función de la distancia horizontal a la fuente de ruido en los ejes X (Figura 8) e Y (Figura 9), para valores concretos de la profundidad de -6 y -50 m. Como se observa en las figuras se produce una mayor variación del SPL en función de la distancia horizontal (X o Y) que en función de la profundidad, es decir, se transmite más ruido a lo largo de la superficie marina que hacia el lecho marino.

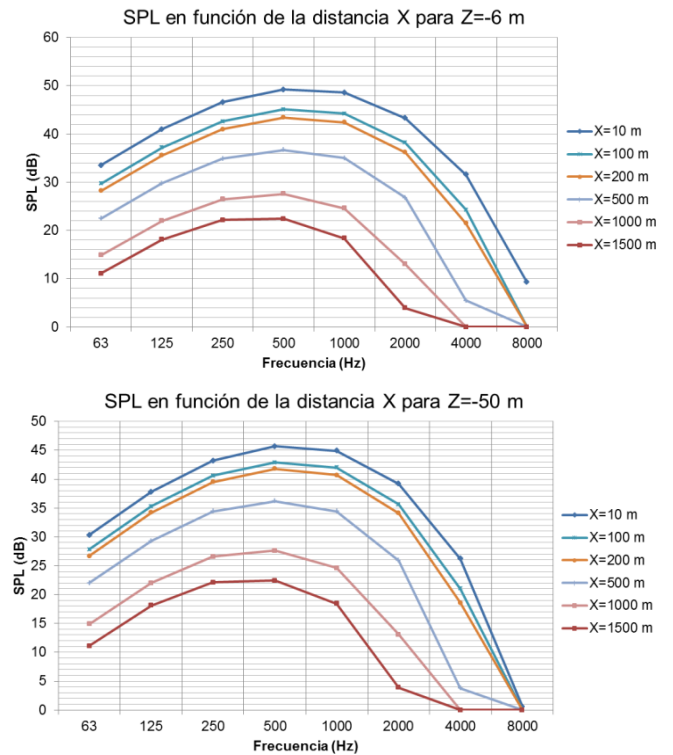


Figura 8. Variación del espectro de frecuencia a lo largo de la distancia X: a) Z = -6 m; b) Z = -50 m.

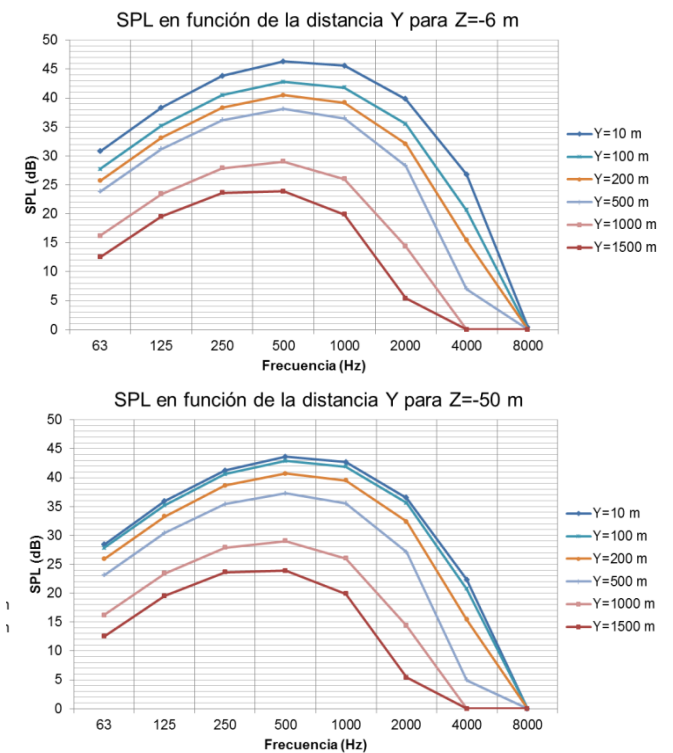
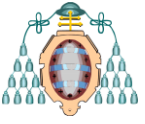
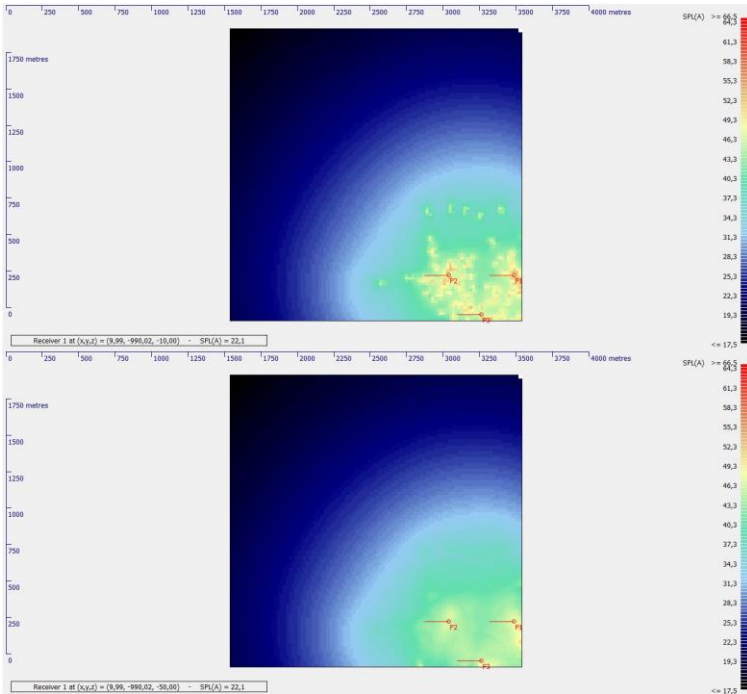


Figura 9. Variación del espectro de frecuencia a lo largo de la distancia Y: a) Z = -6 m; b) Z = -50 m.



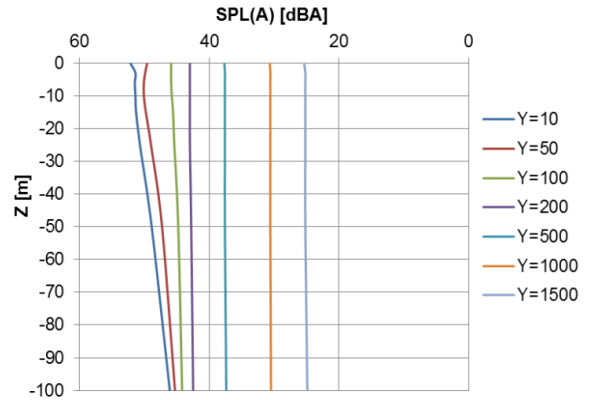
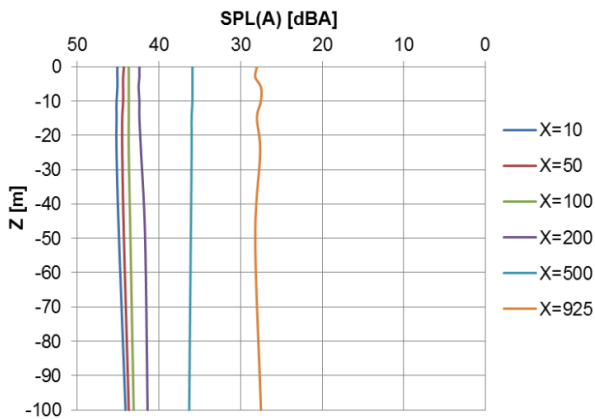
En la Figura 10 se muestran los mapas de la distribución del SPL(A) para dos profundidades diferentes: -10 (figura superior) y -50 m (figura inferior). En las figuras puede observarse claramente el área en la que el impacto acústico de las fuentes es mayor, y que este impacto disminuye al aumentar la profundidad.



**Figura 10. Mapa de distribución del SPL(A): a) profundidad de -10 m; b) profundidad de -50 m.**

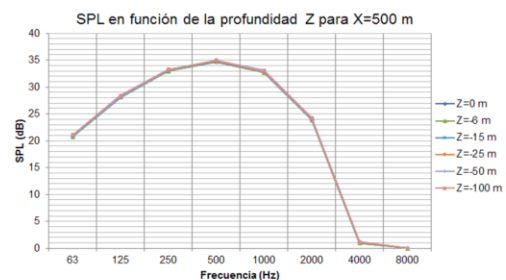
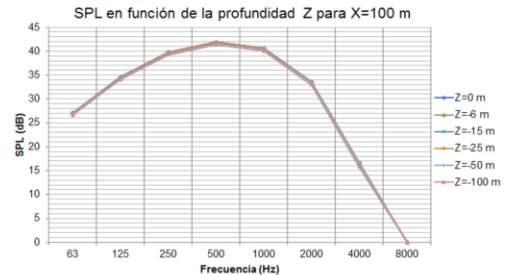
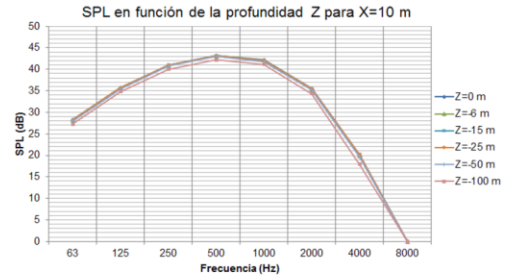
### Llumeres

En este apartado se muestran los resultados obtenidos para el parque eólico de Llumeres.

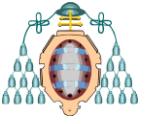


**Figura 11. Variación del SPL(A) con la profundidad: a) distribución a lo largo del eje X; b) distribución a lo largo del eje Y.**

La Figura 11 muestra la variación del SPL(A) en función de la profundidad y de la distancia en los ejes X e Y. Se puede ver que en el caso de la variación en el eje X, el SPL(A) sufre muy poca variación con la profundidad, menos que en el caso de Cabo Busto.

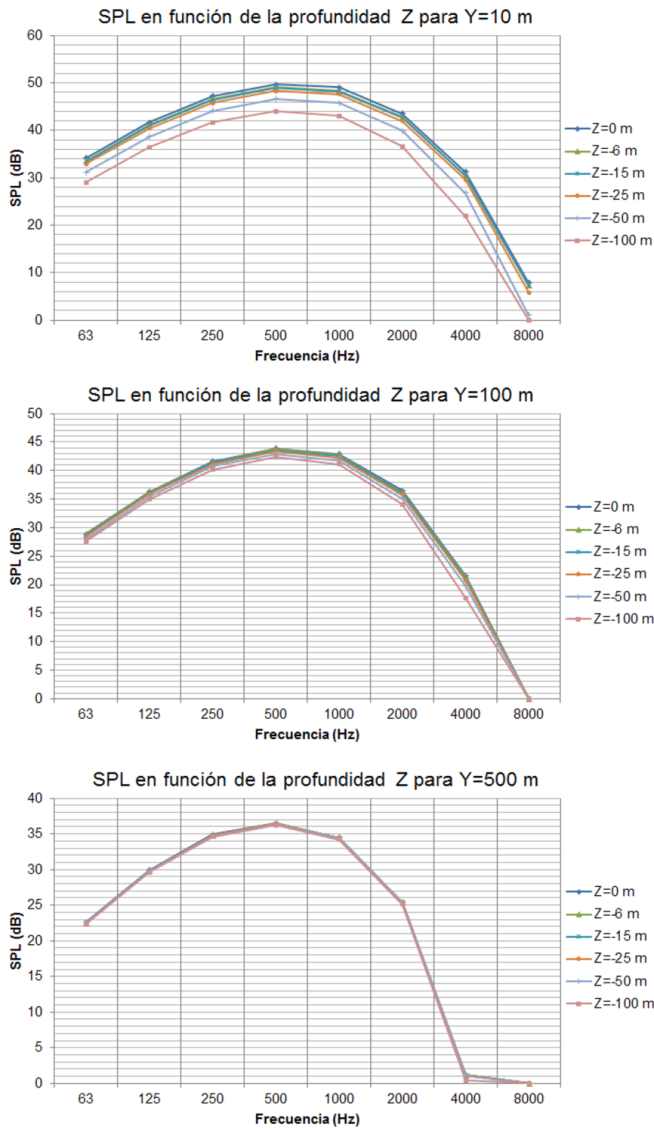


**Figura 12. Espectros de frecuencia del SPL en función de profundidad: a) X = 10m; b) X = 100m; c) X = 500m.**

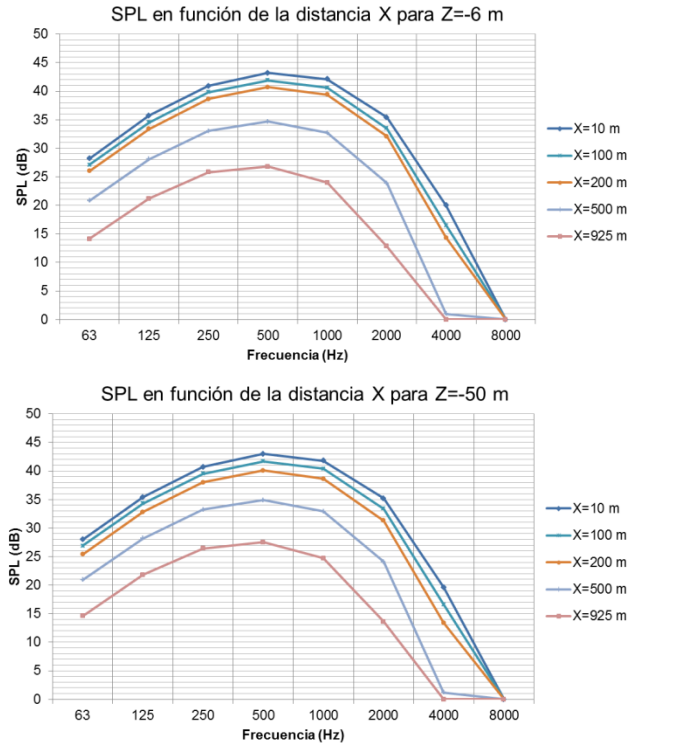


Las gráficas de la variación del espectro de frecuencia en función de la profundidad, mostradas en las Figuras 12 (para la variación en el eje X) y 13 (para la variación en el eje Y), indican que la variación del SPL con la profundidad es muy baja. Esta variación es ligeramente mayor para distancias cortas en el eje Y, pero disminuye drásticamente a medida que aumenta la distancia horizontal, en consonancia con los resultados obtenidos para el SPL(A) en la Figura 11.

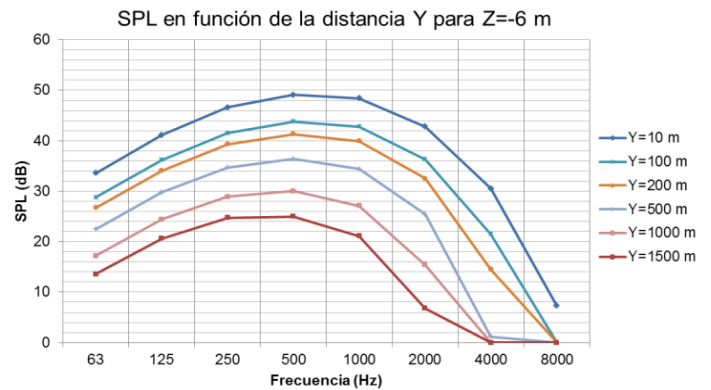
A continuación se muestran las gráficas de la variación del espectro de frecuencia en función de la distancia X (Figura 14) y de la distancia Y (Figura 15), para dos diferentes profundidades. Al igual que en el caso de Cabo Busto, la variación del SPL es mayor en función de la distancia horizontal (a lo largo de la superficie del mar) que en función de la profundidad.



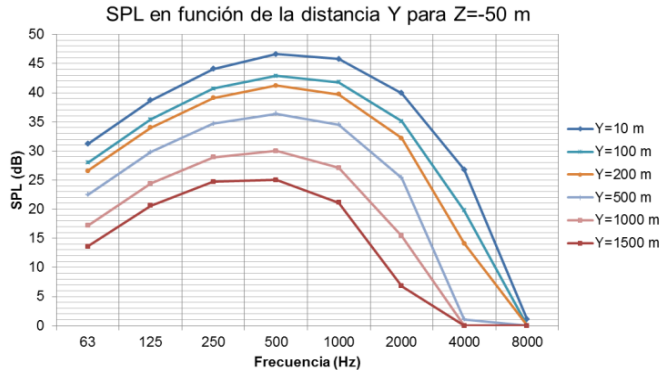
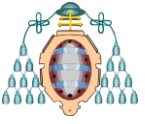
**Figura 13. Espectros de frecuencia del SPL en función de profundidad: a) Y = 10m; b) Y = 100m; c) Y = 500m.**



**Figura 14. Variación del espectro de frecuencia a lo largo de la distancia X: a) Z = -6 m; b) Z = -50 m.**

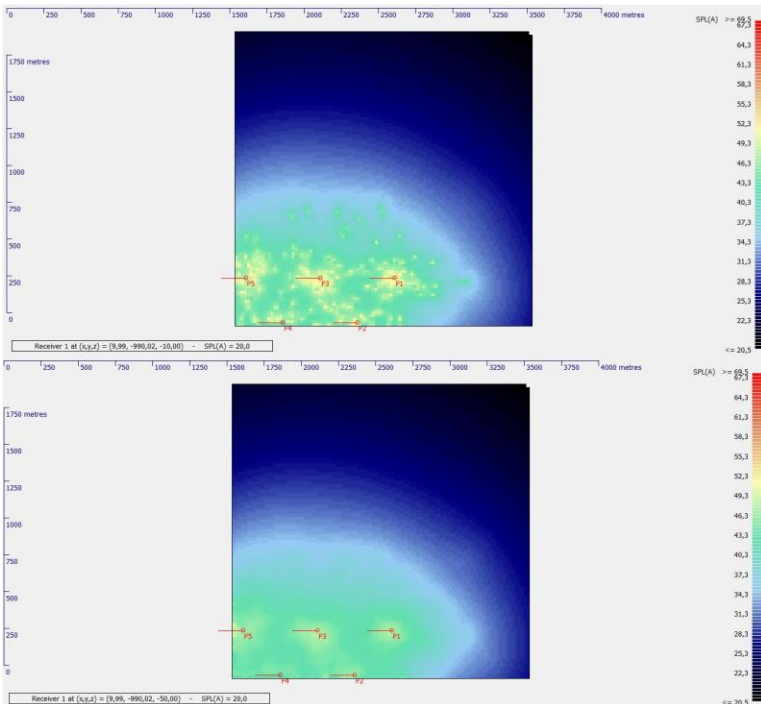






**Figura 15. Variación del espectro de frecuencia a lo largo de la distancia Y: a) Z = -6 m; b) Z = -50 m.**

La Figura 16 muestra los mapas de la distribución del SPL(A) para unas profundidades de -10 (figura superior) y -50 m (figura inferior). Dado que el parque de Llumeres dispone de un mayor número de turbinas, el área afectada por el ruido generado por las fuentes es mayor que en el caso de Cabo Busto. Al igual que en dicho caso, el efecto de las turbinas disminuye con la profundidad, como se puede observar en los valores del SPL(A) alrededor de las turbinas, menores para la profundidad de -50 m.



**Figura 16. Mapa de distribución del SPL(A): a) profundidad de -10 m; b) profundidad de -50 m.**

**Efectos sobre la fauna marina**

Para estimar los efectos que los parques eólicos de Cabo Busto y Llumeres pudiesen tener sobre la fauna marina, se utilizan diversos audiogramas obtenidos de Nedwell et al. [13], seleccionando peces y mamíferos marinos habituales en la Costa Cantábrica. Para que la comparación sea efectiva, es necesario conocer el valor de referencia empleado para el cálculo de los decibelios. En la propagación acústica subacuática es habitual que la presión de referencia sea de 1 µPa, mientras que en el software empleado, Odeon Room Acoustics, la referencia que se emplea es de 20 µPa, más habitual en los cálculos en aire. Es por tanto necesario realizar una conversión de los valores obtenidos mediante el programa para que sean equiparables a los de los audiogramas, para lo cual se siguen las siguientes ecuaciones:

$$p = p_0 (20 \mu Pa) \cdot 10^{SPL(re 20 \mu Pa) / 20}$$

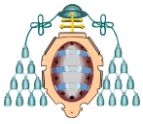
$$SPL (re 1 \mu Pa) = 20 \cdot \log [p / p_0 (1 \mu Pa)]$$

donde *p* es la presión sonora y *p*<sub>0</sub> la presión sonora de referencia. De este modo, los valores máximos obtenidos para Cabo Busto y para Llumeres, que se dan para la menor distancia horizontal (10 m) y a nivel superficial (Z = 0 m), se convierten en los mostrados en la Tabla 6:

**Tabla 6. Conversión de dB con referencia de 1 µPa**

f [Hz]	Cabo Busto		Llumeres	
	SPL [dB 20 µPa]	SPL [dB 1 µPa]	SPL [dB 20 µPa]	SPL [dB 1 µPa]
<b>63</b>	35	61	34.2	60
<b>125</b>	42.6	69	41.7	68
<b>250</b>	48.1	74	47.2	73
<b>500</b>	50.8	77	49.7	76
<b>1000</b>	50.3	76	49.1	75
<b>2000</b>	45	71	43.5	70
<b>4000</b>	33.5	60	31.3	57
<b>8000</b>	11.4	37	7.9	34

En las tablas 7 a 12 se muestran los audiogramas de diferentes especies marinas habituales en la Costa Cantábrica, obtenidos del trabajo de Nedwell et al. [13] en el que se recogen audiogramas de diversos animales marinos de varios autores. En concreto, se muestran los



audiogramas de la lubina, el bacalao, el lenguado, el salmón, el delfín mular y la marsopa común.

**Tabla 7. Audiograma de lubina de Lovell**

Frecuencia [Hz]	SPL [dB re 1µPa]
100	98
200	100
300	100
400	102
500	106
600	107
800	106
1000	107
1600	119

**Tabla 8. Audiograma de bacalao de Offutt**

Frecuencia [Hz]	SPL [dB re 1µPa]
10	82.8
20	63.4
37.5	75.4
75	68.9
150	64.8
300	75.4
600	139

**Tabla 9. Audiograma de lenguado de Popper y Fay**

Frecuencia [Hz]	SPL [dB re 1µPa]
30	95.0
40	93.8
60	91.7
80	89.8
110	89.0
160	95.9
200	104.9

**Tabla 10. Audiograma de salmón de Hawkins y Johnstone**

Frecuencia [Hz]	SPL [dB re 1µPa]
32	107.5
60	105
110	97.5
160	95.2
250	106
310	112.5
380	131.5

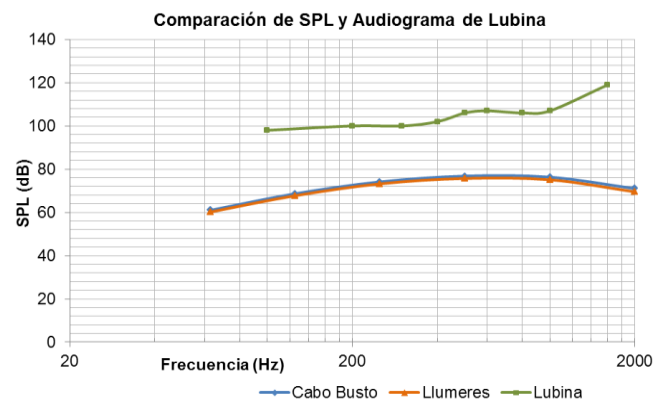
**Tabla 11. Audiograma de delfín mular de Johnson**

Frecuencia [Hz]	SPL [dB re 1µPa]
75	132
100	131
200	113
300	104
400	100
500	98
600	105
700	91
800	94
900	98
1000	96
2000	72
3000	76
4000	80
5000	73
6000	68
7000	62
8000	66

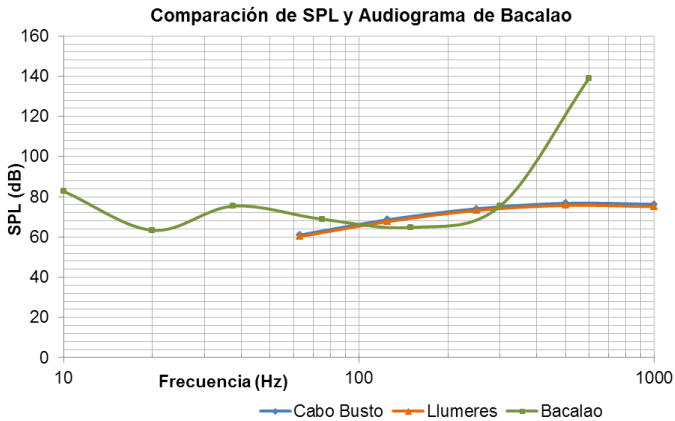
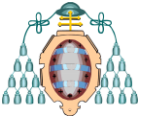
**Tabla 12. Audiograma de marsopa de Kastelein et al.**

Frecuencia [Hz]	SPL [dB re 1µPa]
250	115
500	92
1000	80
2000	72
4000	67
8000	59

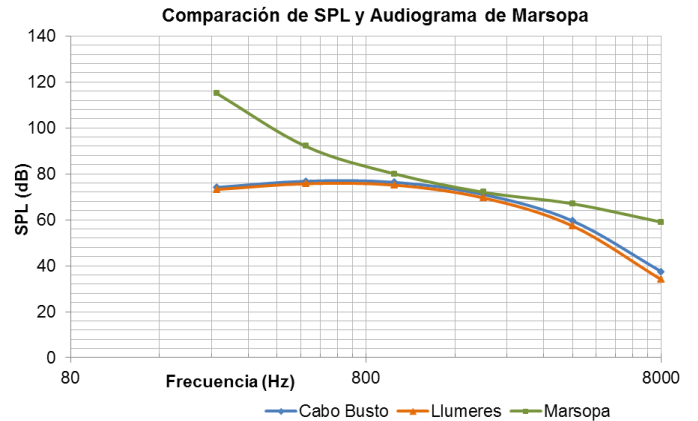
En las figuras 17 a 22 se muestra la comparación de los audiogramas de las especies marinas consideradas con los máximos niveles del SPL obtenidos en las simulaciones para los parques eólicos de Cabo Busto y Llumeres.



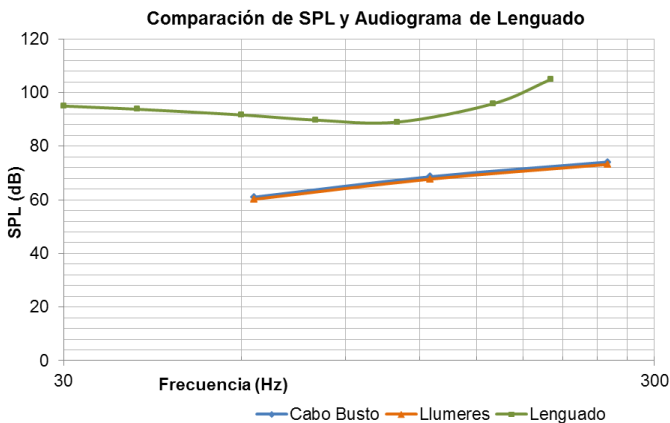
**Figura 17. Comparación del máximo SPL en Cabo Busto y Llumeres con el audiograma de lubina**



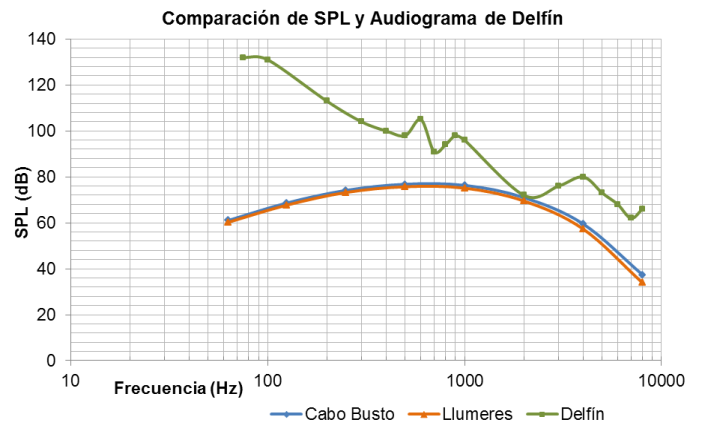
**Figura 18. Comparación del máximo SPL en Cabo Busto y Llumeres con el audiograma de bacalao**



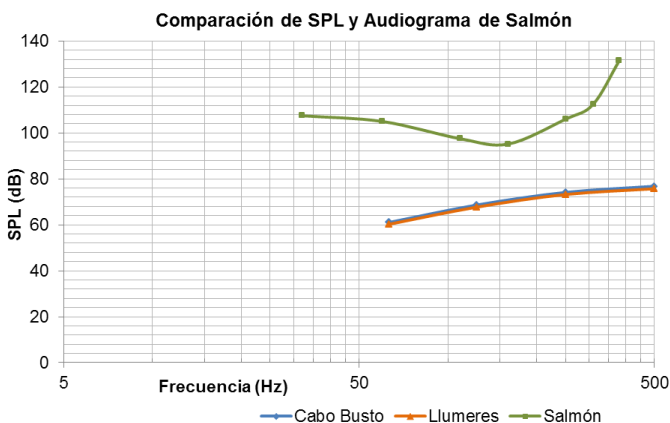
**Figura 21. Comparación del máximo SPL en Cabo Busto y Llumeres con el audiograma de delfín**



**Figura 19. Comparación del máximo SPL en Cabo Busto y Llumeres con el audiograma de lengüado**

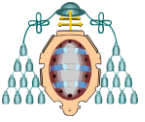


**Figura 22. Comparación del máximo SPL en Cabo Busto y Llumeres con el audiograma de marsopa**



**Figura 20. Comparación del máximo SPL en Cabo Busto y Llumeres con el audiograma de salmón**

Como se observa en las figuras, la lubina (Figura 17) comienza a percibir sonidos para niveles sonoros muy por encima de los producidos por cualquiera de los parques eólicos considerados. En cambio, en el caso del bacalao (Figura 18), existe un rango de frecuencias, entre 100 y 300 Hz, en el que el ruido generado por las turbinas eólicas interfiere con su audiograma. El nivel no parece ser elevado respecto al mínimo nivel que el bacalao puede captar, por lo que en principio no debería causarle daños, aunque sería conveniente estudiar si dichas interferencias pueden afectar al comportamiento natural de estos peces. En el caso del lengüado (Figura 19) y el salmón (Figura 20), al igual que ocurría con la lubina, no existen interferencias acústicas, ya que este pez tiene su umbral acústico inferior muy por encima del ruido máximo generado por las turbinas. Para el delfín mular (Figura 20) existe un



punto a la frecuencia de 2000 Hz en el que el nivel sonoro de las turbinas está muy próximo al umbral auditivo de este mamífero, aunque no llega a sobrepasarlo, por lo que no supone una interferencia en la comunicación de este animal. Finalmente, para la marsopa (Figura 22), entre 900 y 1000 Hz el nivel de presión sonora generado por los parques eólicos está muy próximo al nivel auditivo de estos mamíferos, sin llegar a sobrepasarlo, lo que en principio tampoco debería generar molestias a este mamífero.

## CONCLUSIONES

Se ha analizado el impacto acústico de dos configuraciones de parques de turbinas eólicas offshore como posibles candidatas a su instalación en la Costa Cantábrica. Se han plasmado los resultados del SPL generado en diversas gráficas comparativas en función de su distancia a la fuente y a diversas profundidades, observando que los valores del SPL no resultan elevados y disminuyen en gran proporción con el aumento de la distancia a la fuente y con la profundidad.

Se han comparado, además, los valores del SPL con audiogramas de animales marinos que podrían encontrarse en aguas de la Costa Cantábrica obtenidos de la bibliografía, dando como resultado una interferencia nula con su sistema auditivo en la mayoría de los casos y una interferencia mínima en el caso del bacalao de aproximadamente 4 dB.

Siguiendo este estudio, podría decirse que el impacto acústico de estos parques eólicos offshore durante su etapa de operación es insignificante para las especies animales marinas de la zona. No obstante, sería recomendable realizar los cálculos mediante otro software u otro medio que permitiese contrastar los resultados obtenidos.

## NOMENCLATURA

SPL	Sound Pressure Level [dB]
SPL(A)	Sound Pressure Level ponderado en A [dB]
$p$	Presión Sonora [ $\mu$ Pa]
$p_0$	Presión Sonora de referencia [ $\mu$ Pa]
$f$	Banda de frecuencia

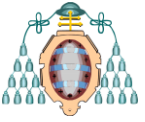
## AGRADECIMIENTOS

Quisiera transmitirle mi agradecimiento a la tutora de este trabajo, Katia María Argüelles, por su ayuda y seguimiento a lo largo del desarrollo del mismo, así como al resto de personal del Departamento de Energía de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón.

Asimismo, transmito mi agradecimiento al Instituto Tecnológico de Asturias (IUTA) y al Ayuntamiento de Gijón por haber financiado mediante una beca parte de las investigaciones reflejadas en este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Martínez Beltrán, Sonia Carolina; Velarde Suárez, Sandra; Argüelles Díaz, Katia María: "Desarrollo de una metodología para la evaluación del impacto acústico de aerogeneradores offshore". Universidad de Oviedo.
- [2] Madsen, P.T.; Wahlberg, M.; Tougaard, J.; Lucke, K.; Tyack, P.: "Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs". Marine Ecology Progress Series, Vol. 309: 279–295, 2006.
- [3] Gabriel, J.; Lübben, A.; Neumann, T.: "Long term hydro sound measurements at the Alpha Ventus offshore wind farm focussing on pile driving noise". Fourth International Meeting on Wind Turbine Noise, Italy 12-14 April 2011.
- [4] Snyder, Brian; Kaiser, Mark J.: "Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy". Renewable Energy 34 (2009) 1567–1578, Elsevier Ltd., December 2008.
- [5] Gill, Andrew B.: "Offshore renewable energy: ecological implications of generating electricity in the coastal zone". Journal of Applied Ecology 2005 42, 605–615.
- [6] Betke, Klaus; Schultz-von Glahn, Manfred; Matuschek, Rainer: "Underwater noise emissions from offshore win turbines". Presented at CFA/DAGA 2004.



[7] Porter, Michael B.: "The BELLHOP Manual and User's Guide: PRELIMINARY DRAFT". Heat, Light, and Sound Research, Inc., USA, January 2011.

[8] De Sousa Costa, Emerson; Bauzer Medeiros, Eduardo: "Numerical modelling and simulation of acoustic propagation in shallow water". Mecánica Computacional Vol XXIX, págs. 2215-2228, Argentina 2010.

[9] Snow, D.J.: "Noise control in power plant". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy 1997 211: 73.

[10] Christensen, Claus Lynge: "Odeon Room Acoustics Program". Odeon A/S, Denmark, 2009.

[11] Informe técnico del "Análisis de emisión de ruido para máquinas G8X", Gamesa Eólica, 2007.

[12] Informe de la "Curva de Potencia y Emisión de Ruido G90 2MW 50/60Hz", Gamesa Eólica, 2010. R.D 1367/2007, Boletín Oficial del Estado, 23 de octubre del 2007.

[13] Nedwell, J.R.; Edwards, B.; Turnpenny, A.W.H.; Gordon, J.: "Fish and Marine Mammal Audiograms: A summary of available information". Subacoustech Report ref: 534R0214, September 2004.