

## EL ESPECTRO DEL VIENTO

PACS: 43.50.Cb

González, Alice Elizabeth; Marcos Raúl Lisboa  
Departamento de Ingeniería Ambiental-IMFIA, Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República  
Av. Julio Herrera y Reissig 565  
Montevideo  
URUGUAY  
Tel. +598 2711 3386  
Fax +598 2711 5277  
E-mail: [aliceelizabethgonzalez@gmail.com](mailto:aliceelizabethgonzalez@gmail.com)

### ABSTRACT

Wind energy is quickly growing in Uruguay. Wind farms need an environmental impact assessment to be built. The EIA process is focused on an environmental impact study (EIS). These studies should take into account the environmental noise levels before and after the operation of the wind farm. Spectra from winds of different speeds need to be known to build the base-lines for these EIS.

Some of these spectra have been obtained with basis on long time noise measurements in BTO. They are presented in this paper.

### RESUMEN

En este trabajo se presentan composiciones espectrales del ruido generado por vientos de diferentes velocidades. Se han obtenido a partir de datos de niveles de presión sonora en BTO. El interés en conocer estos espectros tiene que ver con el crecimiento de los parques eólicos en Uruguay, que previsiblemente continuará incrementándose en los próximos años. La comparación de las condiciones con y sin generación de energía, es decir, ruido del viento contra ruido de aerogeneradores en operación, permite analizar cuantitativamente los impactos asociados con la modificación de la velocidad de arranque de las máquinas.

## INTRODUCCIÓN

La apertura del mercado energético y la diversificación de la matriz energética a través de la incorporación de fuentes de generación no tradicionales constituyen uno de los mayores desafíos que enfrenta Uruguay. En particular, la generación eólica ha recibido un fuerte impulso en los últimos años: se espera alcanzar los 1.000 MW en 2015, triplicando las expectativas de la Política Energética 2005 - 2030.

En Uruguay, todos los emprendimientos de generación energética con potencia a instalar mayor que 10 MW deben ser sometidos al proceso de Evaluación de Impacto Ambiental que regula el Decreto 349/005. Éste prescribe, en caso de que el proyecto sea clasificado en dos de sus tres categorías, la necesidad de realización de un Estudio de Impacto Ambiental. Los parques eólicos suelen estar en una de esas dos categorías y, en consecuencia, suelen requerir un Estudio de Impacto Ambiental sectorial, con énfasis en tres temas: afectación a avifauna y quirópteros, afectación paisajística y modificación de los niveles de presión sonora ambientales. Tales potenciales impactos adversos deben ser analizados cuidadosamente.

En particular, la previsible elevación de los niveles sonoros ambientales suele generar conflictos con la población local desde el momento en que se da a conocer la intención de llevar adelante un emprendimiento de esta naturaleza, mucho antes de que el mismo tenga presencia física.

## ESTUDIO DE IMPACTO ACÚSTICO

Uno de los componentes ineludibles del estudio de impacto ambiental de un parque eólico es el Estudio de Impacto Acústico. Éste debería considerar como contenidos mínimos:

- Determinación del área de estudio a considerar
- Identificación de las fuentes sonoras con incidencia en el área de estudio
- Normativa a aplicar en materia de niveles de presión sonora
- Descripción de la línea de base de niveles de presión sonora en el área de estudio
- Predicción de niveles de presión sonora con el parque eólico en funcionamiento
- Evaluación del impacto acústico esperable
- Medidas de gestión a considerar (por ejemplo, medidas de mitigación y/o de compensación, acciones de difusión, comunicación y educación).
- Plan de monitoreo de niveles de presión sonora (y eventualmente de otras variables de interés, como por ejemplo grado de satisfacción de la población local, modificación del valor de la propiedad) en el área de influencia directa en fase operativa

Si bien en la actualidad no hay consenso en relación a la metodología a aplicar para la predicción de los niveles sonoros ambientales asociados con el funcionamiento de aerogeneradores de gran porte, en particular cuando se trata de parques de llanura que es cuando las condiciones de estabilidad atmosférica adquieren mayor relevancia en cuanto condicionantes de los fenómenos de propagación, de todos modos es ineludible conocer la condición inicial o línea de base en el área de influencia del proyecto para poder compararla con las predicciones en cuanto a la situación esperable con el proyecto en funcionamiento.

Dado que en Uruguay no existe una normativa de carácter nacional que defina niveles de presión sonora ambientales admisibles, el impacto acústico esperado se evalúa en relación a una directiva interna de la División Evaluación de Impacto Ambiental de la Dirección Nacional de Medio Ambiente, que en su punto 4 indica:

*“En relación a las emisiones sonoras generadas por el funcionamiento del parque eólico, se deberá realizar una evaluación del nivel de ruido futuro esperado en el área de influencia del emprendimiento. Ésta constará de un estudio del ruido de fondo existente sin la presencia de los AG (a partir de medidas directas en campo), una modelación del nivel de ruido generado por los AG durante su funcionamiento y un estudio del nivel sonoro que resulta de la superposición de los dos anteriores en el sitio de inmisión más comprometido.*

*A los efectos de la evaluación se establece un límite máximo de inmisión de 45 dB(A), tanto diurno como nocturno, medido en la fachada de una edificación habitada y siempre que el ruido de fondo no supere los 42 dB(A). Para el caso donde el ruido de fondo supere el valor de 42 dB(A), entonces el nivel sonoro resultante de la superposición de aquel con el ruido generado por los AG no debiera superar en 3 dB(A) el ruido de fondo medido.”*

Aunque se establece claramente que la línea de base debe obtenerse por medición directa en campo, nada se indica a propósito de aspectos que pueden afectar mucho la calidad de la descripción de la misma, como por ejemplo la duración de tales mediciones, la altura del micrófono, o si deben tomarse registros en bandas de frecuencias o sólo con ponderación frecuencial A.

#### **DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE BASE DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA**

Para caracterizar la línea de base de niveles de presión sonora pueden seguirse diferentes propuestas metodológicas. En la que se formuló en el marco de un Convenio llevado adelante entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República y la Dirección Nacional de Energía del Ministerio de Industria, Energía y Minería, se propuso solicitar mediciones de por lo menos una semana de duración en cada receptor de interés.

Este período, que puede parecer a primera vista muy extenso, no debería afectar los plazos de autorización de estos emprendimientos dado que se exige contar como mínimo con un año de datos de viento en el sitio en que se plantea la implantación del parque y, en consecuencia, las mediciones de niveles de presión sonora para la línea de base se deberían realizar durante ese mismo lapso. Se propone solicitar que las mediciones se realicen en bandas normalizadas de octava o de tercio de octava cubriendo por lo menos el rango audible (entre 20 Hz y 20.000 Hz), con respuesta rápida e impulsiva simultáneamente.

Sin embargo, dado que actualmente no hay ninguna directiva vigente en cuanto a la realización de las mediciones de línea de base y de la información a presentar al respecto, se suelen presentar resultados de mediciones puntuales de corta duración.

De ahí que se ha considerado de interés caracterizar el ruido de vientos de diferentes velocidades que, si bien pueden aportar información de referencia cuando la misma no surge de la presentada en el estudio correspondiente, como fin último tienen el de advertir acerca de la necesidad de considerar explícitamente las diferentes direcciones y velocidades del viento cuando se trata de caracterizar una línea de base para un estudio de impacto acústico vinculado a generación de energía eólica.

### INFORMACIÓN DISPONIBLE

Se tuvo acceso a registros de larga duración de niveles de presión sonora en BTO tomados en varios puntos de un área rural en la que se planifica la instalación de un parque eólico. Se trata de una zona de serranías que está entre las de mayor potencial eólico del país.

Las mediciones fueron tomadas en los meses de agosto y setiembre del año 2012. En cada punto de medición se instaló el micrófono del sonómetro en un mástil, a 5 m de altura libre sobre el suelo y a no menos de 50 m de edificaciones (cuando las había próximas al punto de medición). Simultáneamente se midió la velocidad y dirección del viento a la misma altura, con anemómetro y veleta instalados en otro mástil viento (o corriente) abajo del anterior.

### ALGUNOS ESPECTROS OBTENIDOS

En la figura 1 se presenta la composición espectral obtenida en registros continuos de entre 24 y 100 horas de duración en 9 puntos diferentes. Más allá de las diferencias en los niveles, se observa que la forma del espectro es bastante homogénea hasta aproximadamente los 2.500 Hz.

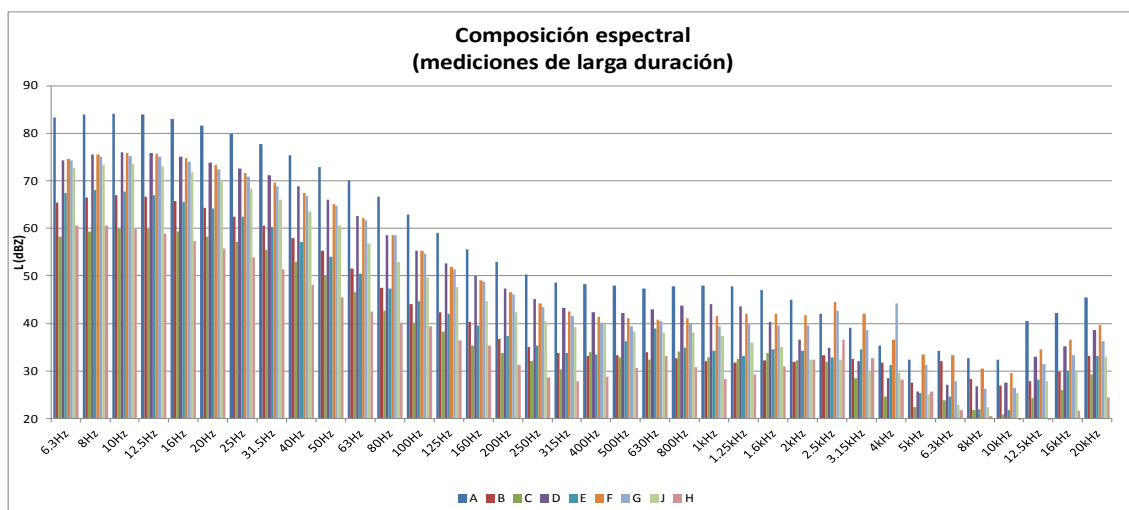


Figura 1. Composición espectral obtenida en 9 mediciones de larga duración (todos los datos)

Con la intención de verificar la posible incidencia de la dirección y velocidad del viento en su composición espectral, se analizaron por separado los datos correspondientes a dos direcciones: viento del SW, que es la dirección de los vientos de mayor intensidad en Uruguay, y en general es viento que aporta aire frío; y viento del NE (son los más frecuentes), que es un viento más cálido y húmedo.

Se tomaron en cuenta solamente datos correspondientes a vientos de velocidad 2 m/s o superior, dado que la velocidad de entrada en operación de los aerogeneradores autorizada en Uruguay es de 2 m/s. Es necesario hacer notar que no se dispuso de una cantidad significativa de datos de espectros de vientos del SW con velocidad de 5 m/s o más, razón por la que, para esa dirección, sólo se han considerado velocidades entre 2 m/s y 3 m/s (en los gráficos se indican como 2 m/s), entre 3 m/s y 4 m/s (se indican como 3 m/s) y entre 4 m/s y 5 m/s (se indican como 4 m/s).

En el gráfico de la figura 2 se comparan los espectros obtenidos para ambas direcciones. Se observa que hay diferencias significativas en los niveles de presión sonora, aunque a grandes rasgos la forma de las curvas se mantiene, por lo menos para las bandas de hasta 2.000 Hz. Las curvas NE-50 y SW-50 corresponden a las medianas de los niveles de presión sonora en cada BTO para la correspondiente dirección del viento, en tanto las NE-90 y SW-90 están definidas por los valores que son superados por el 90 % de los niveles sonoros obtenidos para esa dirección del viento.

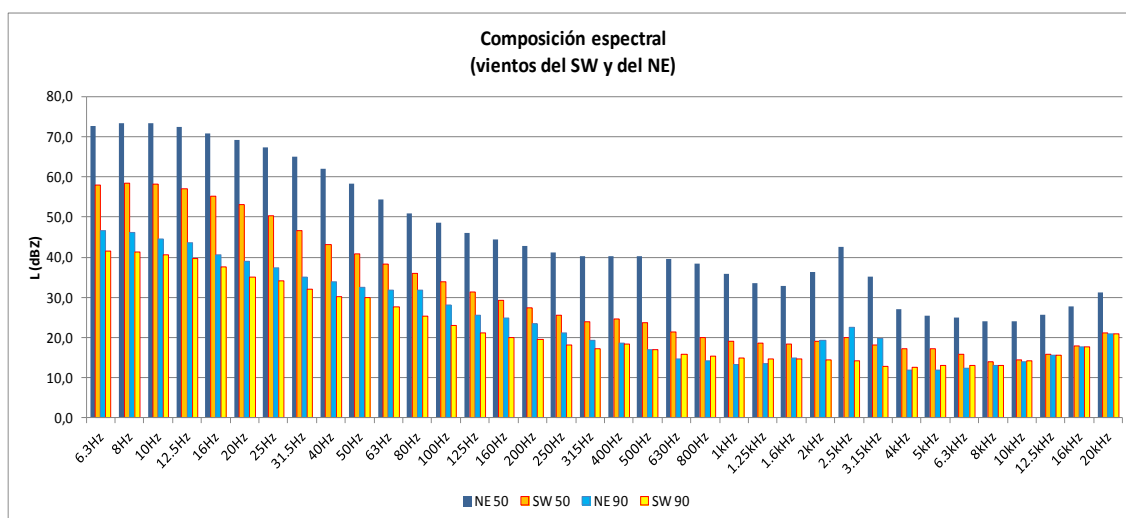


Figura 2. Composición espectral obtenida para vientos del SW y del NE de velocidad 2 m/s o superior (niveles superados por el 50 % y por el 90 % de los datos en cada caso).

En la figura 3 se compara la composición espectral obtenida para vientos del NE en función de su velocidad y en la figura 4 se hace lo propio para vientos del SW. Ésta, al igual que todos los gráficos y comentarios en adelante, se refiere a los niveles que son superados por el 50 % de los datos, es decir, a la mediana del conjunto de datos en cuestión.

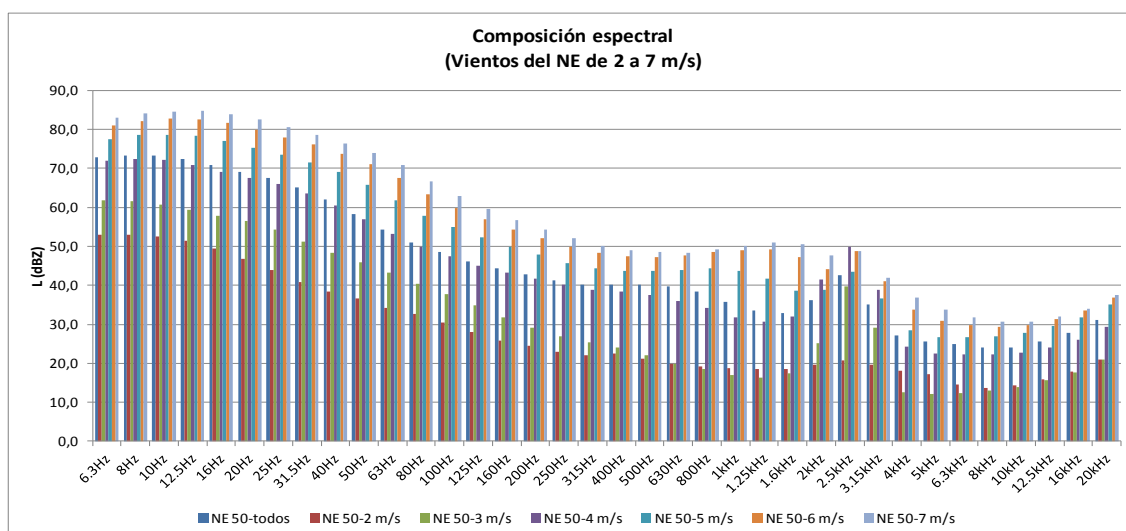


Figura 3. Viento del NE. Composición espectral en función de la velocidad del viento (niveles superados por el 50 % de los datos en cada BTO)

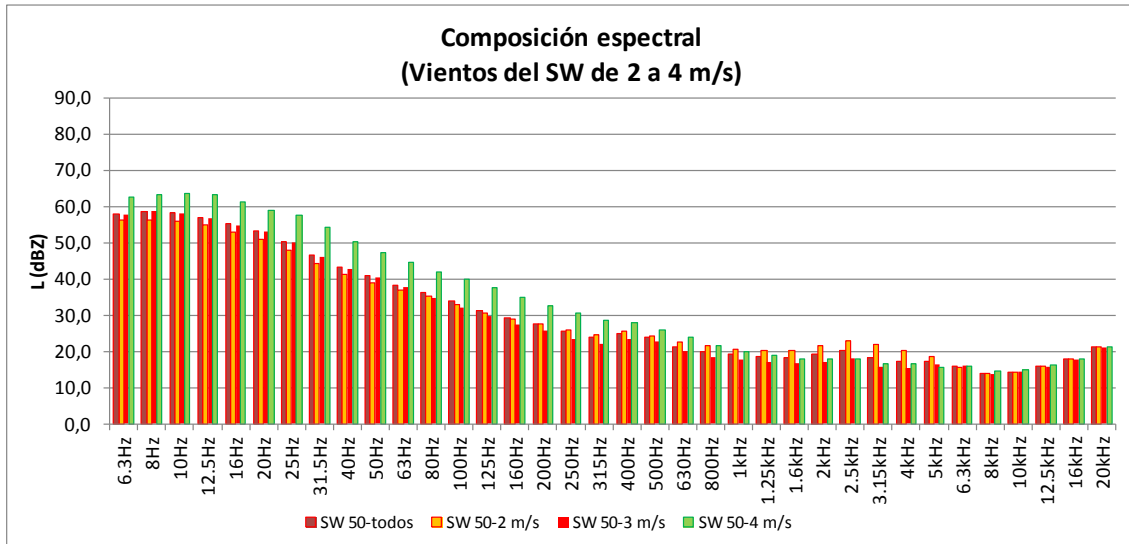


Figura 4. Viento del SW. Composición espectral en función de la velocidad del viento (niveles superados por el 50 % de los datos en cada BTO)

En la figura 5 se comparan los espectros de vientos según velocidad y dirección para las dos direcciones consideradas, para el total de los datos analizados y para las velocidades de que se dispuso de una base significativa de datos (por lo menos 2.400 registros). Nótese que aparecen diferencias difíciles de soslayar.

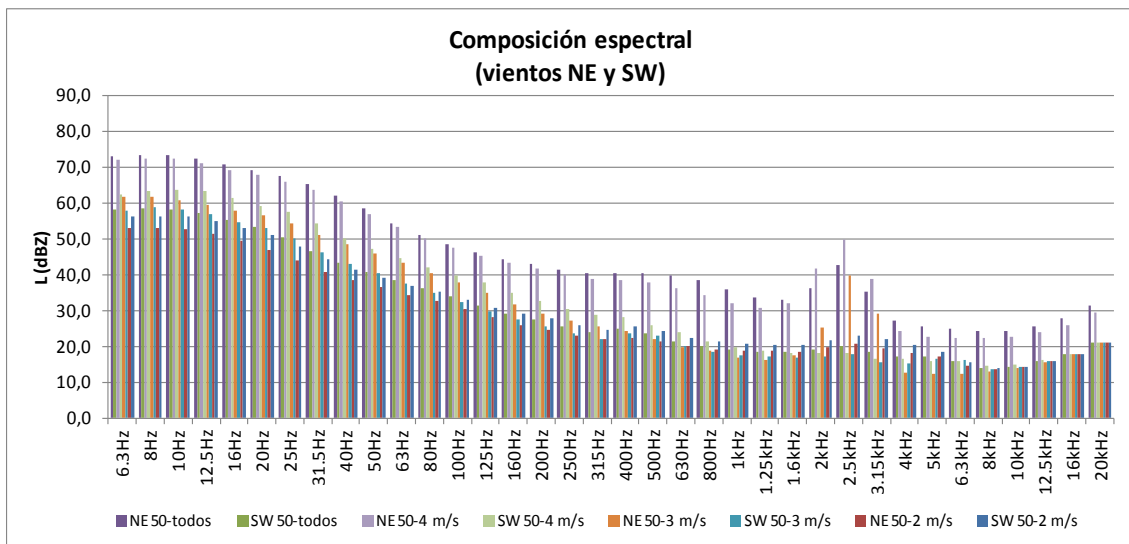


Figura 5. Composición espectral en función de la velocidad y dirección del viento (niveles superados por el 50 % de los datos en cada BTO)

Por último, dado que la mayor generación de energía eólica en Uruguay corresponde a vientos de baja velocidad y gran permanencia, en la figura 6 se comparan los espectros correspondientes a vientos del SW y del NE con velocidades de entre 2 y 3 m/s. Nótese que si

bien la forma de ambos espectros coincide, hay una diferencia sistemática de 3 dB por encima en el caso del viento del SW.

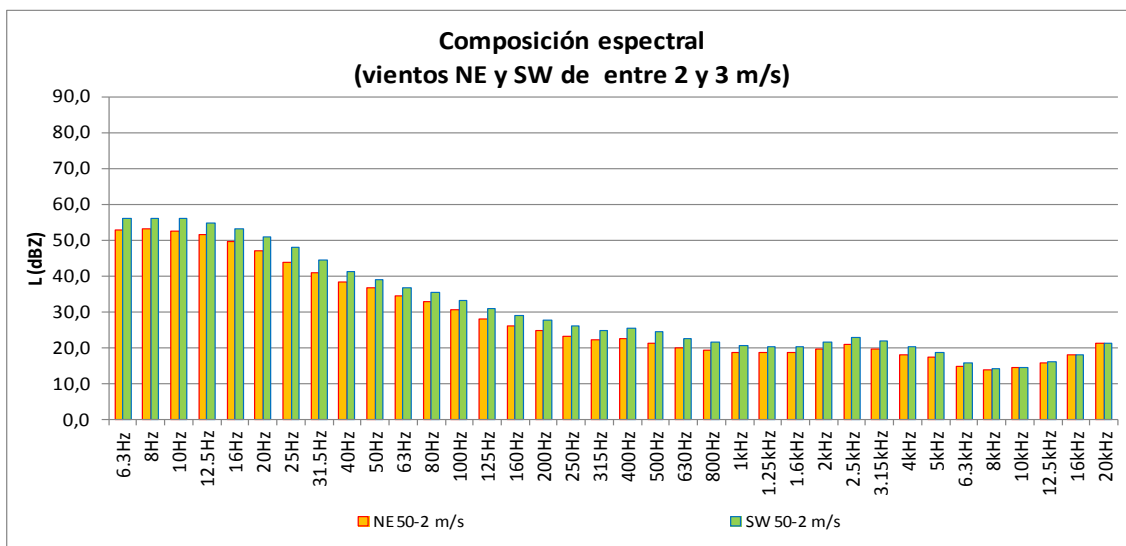


Figura 6. Composición espectral para vientos del NE y del SW, de entre 2 m/s y 3 m/s.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos a partir del análisis de vientos del NE y del SW con diferentes velocidades, puede inferirse que:

- La forma del espectro del ruido del viento es similar para las dos direcciones consideradas cuando las velocidades son de entre 2 m/s y 4 m/s, aunque no presentan los mismos niveles de presión sonora.
- Si bien no fue posible analizar espectros de vientos del SW de más de 5 m/s, en el caso de 4 m/s a 5 m/s se constatan diferencias de nivel de presión sonora del orden de 15 dBZ en las BTO de hasta 3.150 Hz y de 10 dBZ en frecuencias más altas. Esta modificación en la forma del espectro se toma como un indicio de que esto deberá ser posteriormente analizado cuando se cuente con mayor número de registros de vientos del SW de más de 5 m/s.

Dado que tanto el nivel de presión sonora como la composición espectral varían en función de la velocidad y dirección del viento, la valoración del impacto acústico puede verse afectada sustantivamente si la situación preoperacional se caracteriza tomando como referencia un único espectro acústico.

En consecuencia, a la hora de caracterizar la línea de base para un estudio de impacto acústico es necesario tener explícitamente en cuenta la permanencia de las diferentes direcciones y velocidades del viento, así como sus niveles de presión sonora asociados tanto en escala A como en cada BTO.

Asimismo, se remarca la necesidad de incrementar la base de datos con que se cuenta con mayor número de casos de espectros de vientos del SW de velocidad de 5 m/s en adelante.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cataldo, José; González, Elizabeth; Vignolo, Mario. Zonificación eólica del Departamento de Maldonado. Primer Informe. Actividad Específica. Convenio entre la Universidad de la República y la Intendencia Departamental de Maldonado. Montevideo, Uruguay, setiembre 2012.

Churro, Dulce; João Zambujo, M.; César Rodrigues, C.; Bento Coelho, J. L. Parques Eólicos - Estudo dos Impactes no Ambiente Sonoro I - Influência no Ruído Local. Acústica 2004, Guimaraens, Portugal 2004.

Dirección Nacional de Medio Ambiente (MVOTMA) - División Evaluación de Impacto Ambiental. Criterios establecidos para la instalación y operación de Parques Eólicos. Montevideo, Uruguay, 13 de marzo de 2012.

González, Alice Elizabeth; Bianchi Falco, Fabiana; Cunha Apatie, Nicolás; Lisboa, Marcos Raúl; Rezzano Tizze, Nicolás. Subproyecto A: Metodología para estudiar el Impacto Acústico de Aerogeneradores de Gran Porte en Ambientes Rurales. Informe de Cierre. Actividad Específica. Convenio Marco entre la Universidad de la República – Facultad de Ingeniería y el Ministerio de Industria, Energía y Minería – Dirección Nacional de Energía. Montevideo, Uruguay, diciembre 2012.

González, Alice Elizabeth; Bianchi Falco, Fabiana; Bonilla Medina, Pablo; Ceiter, María Cecilia; Cunha Apatie, Nicolás; Lisboa, Marcos Raúl; Rezzano Tizze, Nicolás. Subproyecto B: Efectos del Ruido de Aerogeneradores de Gran Porte sobre la Salud Humana y la Biota. Medidas de Gestión. Informe Final. Actividad Específica. Convenio Marco entre la Universidad de la República – Facultad de Ingeniería y el Ministerio de Industria, Energía y Minería – Dirección Nacional de Energía. Montevideo, Uruguay, diciembre 2011.

Martín Bravo, María Ángeles; Tarrero, Ana Isabel; Bravo, Daniel; Copete, Miguel; González, Julio; Machimbarrena, María; García, Laura. Impacto acústico de los parques eólicos y su evolución. Acústica 2008, Coimbra, Portugal, 2008.

Ministerio de Industria, Energía y Minería – Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear. Política Energética 2005 – 2030. [www.miem.dnetn.gub.uy](http://www.miem.dnetn.gub.uy)

Tech Environmental, Inc. Acoustic study of four VESTAS V80 wind turbines. Eastham, Massachusetts. Febrero, 2008.

Van den Berg, G.P. The Beat is Getting Stronger: The Effect of Atmospheric Stability on Low Frequency Modulated Sound of Wind Turbines. Noise Notes, Volume 4 number 4, pp.15-40.