

Evaluación del potencial eólico de Montevideo

Ventura Nunes, *Senior Member, IEEE*, Martín Zeballos, José Cataldo

Resumen-- La Intendencia Municipal de Montevideo encargó el estudio del potencial eólico para generar electricidad en el Departamento, que alberga la ciudad de Montevideo rodeada por una zona rural. En primer lugar, se realizaron mediciones de viento de corta duración en tres sitios donde era posible ubicar parques de los cuales se efectuó el prediseño, resultando factibles y de efectos ambientales adversos no significativos. Luego se determinó el potencial en todo el Departamento utilizando un modelo numérico de interpolación de datos de viento. Se obtuvieron mapas de zonas de igual velocidad media anual para distintas alturas y mapas de igual factor de capacidad para distintos aerogeneradores. La velocidad media anual a una altura de 90m supera en todo el Departamento los 7m/s. El factor de capacidad para aerogeneradores de 2MW con 90m de altura de eje bien sintonizados con el clima de vientos, supera el 31% en todos los casos estudiados.

Palabras clave—Evaluación potencial eólico, Modelo numérico de interpolación datos de viento.

I. INTRODUCCIÓN

La Intendencia Municipal de Montevideo (IMM) ha decidido formular un plan estratégico sobre energía donde se consideren las distintas funciones que le conciernen en este tema y que ya desempeña: de ordenador, de usuario y de equidad social que comprende la atención energética de la población de muy bajos recursos. A estas funciones, desea agregar las de generador utilizando recursos renovables no convencionales de los que se dispone en el Departamento: biogás y eólica para generación de electricidad y tierra cultivable para biocombustibles.

En este sentido, en el año 2007, firmó un convenio con la Facultad de Ingeniería para el estudio del potencial eólico para generación de energía del Departamento de Montevideo. En el Departamento, se halla la ciudad de Montevideo, capital de Uruguay, ubicada a 34.5° latitud Sur, 56° longitud Oeste. El Departamento cuenta con una zona urbana densamente poblada, una zona suburbana y una zona rural en la periferia

Este proyecto fue realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República a través del Grupo de Trabajo en Energías Renovables (GTER) y cofinanciado por la Intendencia Municipal de Montevideo.

V. Nunes codirige el GTER de la Facultad de Ingeniería, Montevideo, Uruguay (e-mail: nunes@fing.edu.uy).

J. Cataldo codirige el GTER de la Facultad de Ingeniería, Montevideo, Uruguay (e-mail: jcataldo@fing.edu.uy).

M. Zeballos es integrante del GTER de la Facultad de Ingeniería, Montevideo, Uruguay (e-mail: martinze@fing.edu.uy).

de la ciudad. Además cuenta con costa en las zonas oeste, suroeste, sur y sureste sobre el Río de la Plata tal como se ve en la Fig. 1.



Fig. 1. Foto satelital del Departamento de Montevideo

La evaluación del potencial eólico se efectuó siguiendo dos caminos, en primer lugar, realizando mediciones de corta duración en tres sitios seleccionados en la zona suburbana y rural donde era posible ubicar parques eólicos cuya producción de energía fuera del orden del consumo de electricidad de la IMM compuesto principalmente por el alumbrado público, las instalaciones de saneamiento, los semáforos y los edificios de la Municipalidad y, en segundo lugar, utilizando un modelo numérico del tipo de conservación de masa que permitió conocer el potencial eólico en toda la extensión del Departamento así como los factores de capacidad para distintos aerogeneradores.

II. MEDICIONES DE VIENTO Y PREDISEÑO DE PARQUES

En tres sitios en zonas apartadas de la planta urbana y con características físicas y logísticas tales que permitieran considerar como viable la explotación del recurso eólico, se realizaron mediciones de viento de corta duración.

Para obtener series históricas de velocidad de viento en cada uno de los sitios, dichas medidas se correlacionaron con medidas simultáneas de una estación meteorológica cercana.

A continuación se analiza en detalle el sitio Punta Yeguas, situado en la costa del Departamento de Montevideo, y someramente Cuchilla Pereira.

A. Análisis de las mediciones en Punta Yeguas

En Punta Yeguas, la medición se extendió durante más de tres meses. En la Fig. 2., se presenta la curva de densidad de

probabilidad de velocidad de viento y la rosa de vientos, ambas construidas a partir de los datos relevados.

En la Fig. 2., se muestra también la curva correspondiente a la distribución de Weibull que mejor ajusta a los datos. Se destaca que en el periodo de medición la velocidad media resultó 5.1m/s a 20m de altura, en tanto que el coeficiente de forma de la distribución de Weibull (k) resulta de 2.9, lo cual caracteriza un pico pronunciado.

Se realizó un análisis de correlación que consiste en estudiar la bondad de la predicción que se podría hacer del clima de viento en Punta Yeguas a partir de conocer el clima de vientos en una estación meteorológica cercana, en este caso es la ubicada en el Puerto de Montevideo.

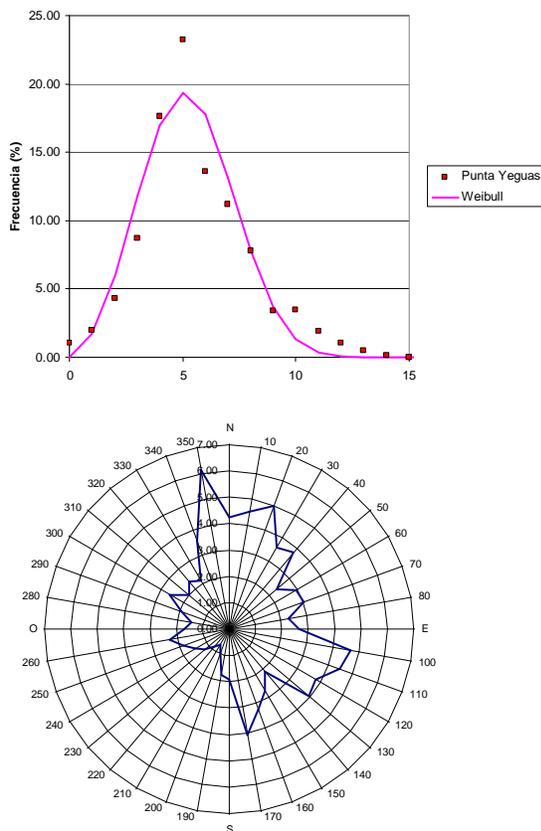


Fig. 2. Curva de densidad de probabilidad de velocidad de viento y la rosa de vientos en Punta Yeguas

Se compararon los puntos correspondientes a eventos simultáneos en ambos lugares y se observó que se tendrían comportamientos similares de los climas de viento determinándose los patrones principales. Existe una muy elevada correlación entre los datos para cada patrón. A modo de ejemplo, en la Fig. 3, se presenta la correlación para el patrón correspondiente a vientos de entre NORTE y ESTE.

El error medio cuadrático obtenido de aproximar los datos de Punta Yeguas a partir de los valores deducidos de las rectas de ajuste es del orden del 24%. Dichas rectas presentan un ajuste a los datos con una correlación mayor al 60%.

A partir de las curvas de ajuste y de la serie histórica del parámetro viento obtenido en el Puerto de Montevideo se

dedujo una serie histórica en Punta Yeguas de tres años de duración (2005-2007).

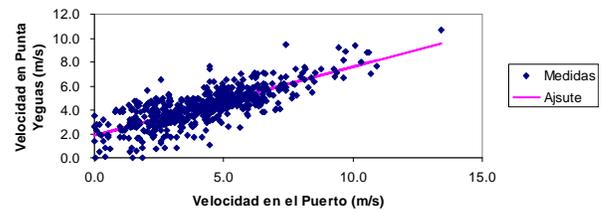


Fig. 3. Correlación para vientos entre NORTE y ESTE

B. Prediseño del parque

Se debe hacer una selección cuidadosa del aerogenerador que se adecua mejor al clima de vientos del sitio analizado. Para el caso de Punta Yeguas, sería conveniente instalar aerogeneradores de alturas del orden de 90m y de baja velocidad. A modo de ejemplo, un aerogenerador adecuadamente sintonizado sería uno de 2MW nominales de baja velocidad.

Cuando los aerogeneradores se instalan en grupos, aparece una interferencia aerodinámica de un aerogenerador sobre otro. Cuando el flujo de aire circula por el rotor se produce un déficit de cantidad de movimiento, lo cual se traduce en una disminución de la velocidad media, y en un incremento de turbulencia producida en el rotor. Como consecuencia de estas modificaciones en el flujo, un aerogenerador ubicado corriente abajo de otro producirá una potencia menor. Este efecto decrece en la medida que los aerogeneradores se alejan uno respecto al otro.

Se observa que los vientos más frecuentes en Punta Yeguas son aquellos con dirección entre NORTE y SURSURESTE. A los efectos de ubicar los aerogeneradores sería conveniente que en las mencionadas direcciones no se ubiquen dos aerogeneradores muy próximos.

En base a las características de los aerogeneradores seleccionados, a la disponibilidad de terreno y atendiendo a las consideraciones que anteceden, se concibieron dos diseños de parque con seis y diez aerogeneradores respectivamente. En la Fig. 4, se ve como ejemplo el parque de seis máquinas de 2MW situado sobre la costa del Río de la Plata.

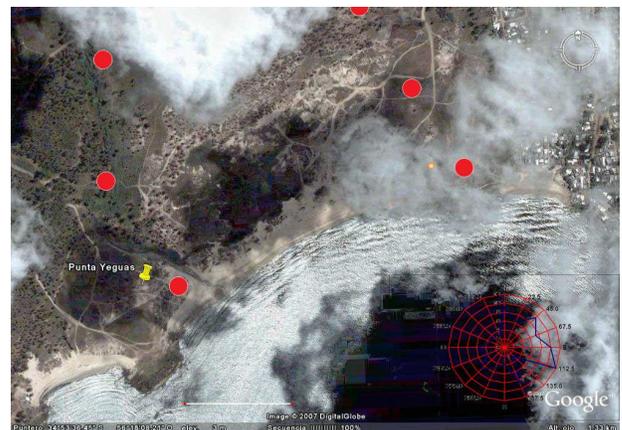


Fig. 4. Parque en Punta Yeguas con seis aerogeneradores

Dado el porte de los parques, se propuso su conexión a la red de distribución de 30kV ya que, en el Departamento de Montevideo, las potencias de cortocircuito son más altas que en otras zonas del país.

C. Factor de capacidad y factibilidad

Se determinó el factor de capacidad para distintos tipos de aerogeneradores y se estudió su factibilidad técnica y económica siguiendo la metodología ya utilizada en [3], [6].

Para un parque eólico, se define el factor de capacidad como la relación entre la energía generada en un año y la que se generaría en funcionamiento a potencia nominal en el mismo lapso. En este caso, interesa analizar tanto el factor de capacidad como la energía anual que se generaría.

Para la serie histórica obtenida en Punta Yeguas se dedujo, para cada sitio donde se ubicaría un aerogenerador, la serie histórica del parámetro viento y a partir de la misma la serie histórica de potencia generada.

El parque eólico constituido por seis aerogeneradores tendría un factor de capacidad de 27% y una energía generada anual de 27.22GWh. Dado que el país aun no ha establecido una tarifa para la eólica, se consideraron los precios manejados en licitaciones de compra de energía eléctrica de origen eólico realizadas por parte de la empresa eléctrica de Uruguay. La tasa interna de retorno resultó superior al 13% y los periodos de retorno inferiores a los 8 años.

Se destaca que en cualquier caso el proyecto de instalación de un parque eólico en Punta Yeguas resulta viable y factible.

D. Resultados obtenidos en Cuchilla Pereira

Estudios similares a los efectuados en Punta Yeguas fueron realizados en los alrededores del camino Uruguay, en la zona de Cuchilla Pereira, al norte del Departamento.

Se determinó una velocidad media a 90m del suelo de 7.6m/s, se seleccionó como aerogenerador sintonizado con el clima de vientos una máquina de 2MW nominales de baja velocidad y de 90m de altura y se propusieron dos configuraciones de parque, una con diez máquinas y otra con veinte.

El parque de diez máquinas presenta un factor de capacidad de 35.6%, muy próximo al que tendría el mismo aerogenerador sin interferencia aerodinámica, y una energía anual media generada de 62.5GWh. El parque de veinte máquinas tendría un factor de capacidad muy parecido de 35.5% y una energía anual generada de 124GWh.

La tasa interna de retorno sería de 14% para ambos parques, suponiendo precios de venta de la energía eléctrica de 80U\$/MWh.

III. MODELO NUMÉRICO

Para la evaluación del potencial eólico en todo el Departamento de Montevideo, se utilizó un modelo numérico de interpolación de datos de viento del tipo de conservación de masa, que emplea como datos los obtenidos en estaciones meteorológicas disponibles cercanas al Departamento. Este modelo fue diseñado en el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) de la Facultad de Ingeniería.

Las mediciones de corta duración realizadas permitieron caracterizar el clima de vientos en sitios de particular interés y apoyar en la calibración del modelo numérico. Los resultados obtenidos a partir del modelo, permitirían identificar zonas dentro del Departamento donde sería factible la explotación del recurso eólico.

A. Descripción del modelo

El modelo numérico de conservación de masa utilizado permite resolver el flujo a meso escala meteorológica utilizando series de viento generadas a partir de mediciones efectuadas en estaciones meteorológicas. Esto permite deducir la serie temporal de velocidad de viento, en zonas donde no había registros meteorológicos previos. Para ello se divide la zona de estudio en una grilla y se determina la velocidad y dirección de viento en cada uno de los nodos de la misma. En este caso, la grilla establecida determina nodos separados en 1km en el plano horizontal y 30m en la vertical

En la Fig. 5, se muestra la zona estudiada, la grilla empleada en el modelo numérico, las dos estaciones meteorológicas indicadas por los puntos 1 y 2 respectivamente Puerto de Montevideo y Aeropuerto de Carrasco y dos de los puntos de medición de corta duración Cuchilla Pereira y Punta Yeguas, señalados respectivamente 3 y 4.

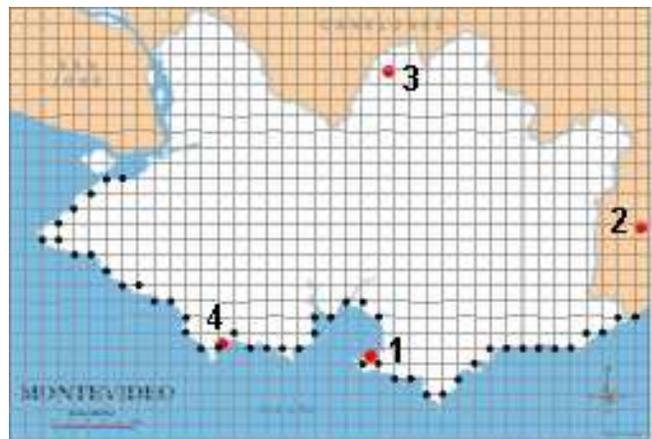


Fig. 5. Mapa del Departamento de Montevideo

El modelo numérico de interpolación toma como volumen de trabajo un recinto comprendido entre el suelo y una altura variada sobre el terreno, que sería la altura de la capa límite o la altura de la capa de mezcla, que se suponen superficies impermeables al flujo; y bordes laterales, que son permeables al paso del viento. El modelo sigue la metodología propuesta por Sherman [1], referenciado en [2], que propone ajustar el campo de velocidades de viento (\vec{U}) utilizando como ecuación de trabajo la de conservación de masa que tiene la siguiente expresión general (suponiendo fluido incompresible y condiciones estacionarias):

$$\nabla \cdot \vec{U} = 0 \quad (1)$$

Antecedentes de la aplicación de esta metodología se encuentran en [4], [5], [7], [8], [9].

Entre los datos requeridos, a los efectos de vincular la velocidad del viento en el sitio de interés y en la estación

meteorológica, se requiere información sobre la rugosidad del terreno aguas arriba tanto en el sitio de interés como en la estación meteorológica. A partir de las características geométricas de la rugosidad, se definen las propiedades aerodinámicas de la misma: la longitud de rugosidad (z_0), la altura del plano de deslizamiento nulo (d) y la velocidad de fricción (u^*). Los puntos 1 y 4 en la Fig. 5. se encuentran sobre la costa, por lo cual contienen la información referida a la rugosidad tipo mar cuando el viento viene desde el sur, mientras que los otros puntos se encuentran más adentrados en la ciudad o en zonas rurales, y por ende están afectados por la rugosidad en la ciudad.

El modelo toma como datos de entrada las series históricas medidas en cada estación, llevadas a una altura común y la rugosidad del suelo en cada una de ellas para todas las direcciones. A partir de estos datos, el modelo extrapola en altura las series en cada estación utilizando la información de la rugosidad del suelo según la ley logarítmica:

$$\frac{U}{U_{ref}} = \frac{\ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}-d}{z_0}\right)} \quad (2)$$

donde U es la velocidad a la altura z , U_{ref} es la velocidad medida a la altura de medición z_{ref} , z_0 es la longitud de rugosidad y d es la altura de desplazamiento nulo. Esta extrapolación en altura se realiza hasta los 120m que es aproximadamente hasta donde la ley logarítmica es válida luego de la cual la distribución de la velocidad media en altura sigue una ley potencial de la forma:

$$U = U_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}}\right)^n \quad (3)$$

con n coeficiente empírico relacionado con z_0 .

De esta forma, para alturas hasta los 120m, primero se extrapola en altura las series de viento y luego se interpola en los planos horizontales para cada altura, definida en la grilla. Luego de obtenidas las componentes horizontales hasta los 120m de altura, se toman las de esta última altura como referencia y se las hace variar en el resto de las alturas con la ley potencial, asumiendo el exponente n constante en todo el dominio.

Se destaca que en esta aproximación se supuso que la atmósfera se conserva en estado termodinámicamente neutro.

B. Resultados obtenidos

A los efectos de tener una visión global del recurso eólico en la zona estudiada, se construyeron algunos indicadores a partir de las series históricas obtenidas en el modelo para cada punto. Un primer indicador es la velocidad media anual. A partir de este indicador, se construyeron, para los años 2005 al 2007, mapas con zonas de igual valor de velocidad media anual a distintas alturas: 30m, 60m y 90m.

En la Fig. 6, se muestra dichas zonas en todo el Departamento para el año 2005. Se observa la incidencia de la rugosidad del suelo en el viento. A menores alturas, la velocidad disminuye en mayor medida en la zona centro-sur de

la ciudad, que es la zona más densamente poblada con edificaciones más altas. Para la altura de 90m, se observa que las velocidades medias descienden tierra adentro de la ciudad, también debido a la rugosidad, si bien esta diferencia es menor.

Se destaca que la velocidad media anual a una altura de 90m, que corresponde a la altura de los ejes de los aerogeneradores usuales, supera en todos los años estudiados y en toda la ciudad los 7m/s.

Si bien se percibe para los 90m de altura una mayor velocidad media sobre la costa, la diferencia con respecto a la velocidad tierra adentro es pequeña, menor a los 0.5m/s, lo que representa un 7%.

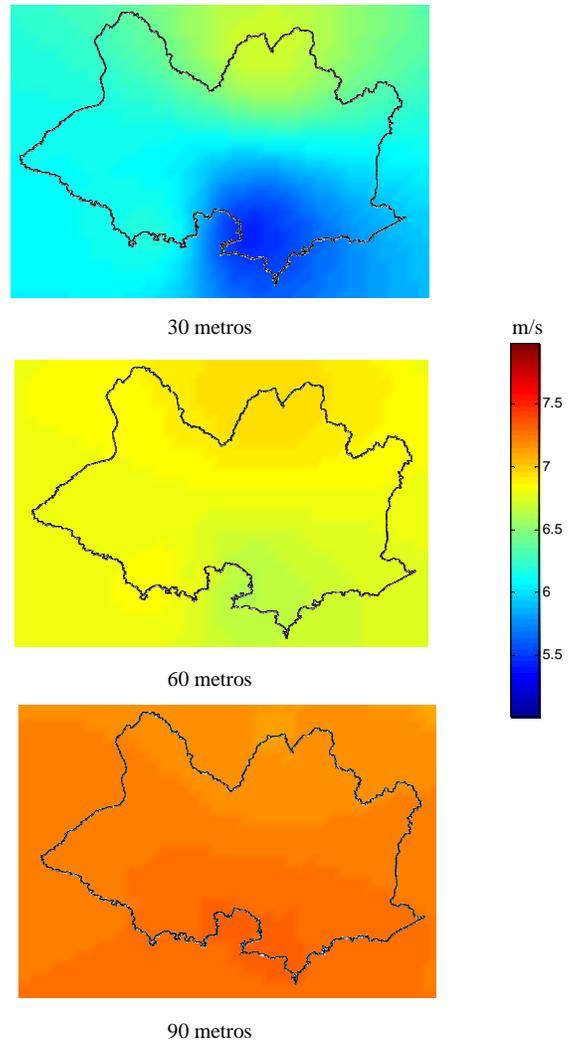


Fig. 6. Mapas con zonas de igual velocidad media anual (año 2005)

Otro indicador que se obtiene es el factor de capacidad. Se seleccionó un conjunto de aerogeneradores con curvas características más o menos sintonizadas con el recurso eólico evaluado y se calculó en cada sitio el factor de capacidad para cada aerogenerador y nuevamente se construyó el mapa de curvas de igual valor de factor de capacidad. Se señala que el factor de capacidad se estima suponiendo que opera un aerogenerador en forma aislada.

En la Fig. 7, se muestra las zonas de igual factor de capacidad para dos aerogeneradores distintos de potencia nominal 2 MW y 90 metros de altura de eje.

Los aerogeneradores considerados para construir los resultados que se muestran en la Fig. 7, presentan curvas características, pobremente sintonizada con el recurso en el caso (a) y debidamente sintonizadas con el recurso disponible en el caso (b), puesto que el factor de capacidad es menor a 26% en el primer caso y superior al 31% en el segundo.

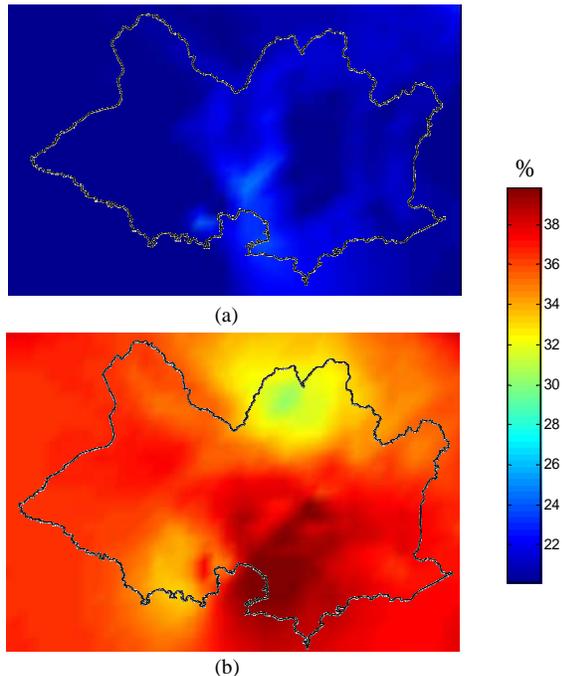


Fig. 7. Mapas con zonas de igual Factor de Capacidad (año 2006), caso (a) aerogeneradores mal sintonizados con el recurso, y caso (b), debidamente sintonizados.

El factor de capacidad calculado en Punta Yeguas es algo menor que los valores obtenidos en el modelo pero esa diferencia se debe a la presencia de una arboleda ubicada en el área del parque.

Como verificación del modelo se compararon los resultados con mediciones que fueron realizadas en otros proyectos. Como ejemplo, se cita la efectuada en Zona América, donde se obtuvo una velocidad media anual de 5.4m/s en una estación ubicada a 30m de altura. La diferencia con el valor del modelo es del orden de los 0.4m/s, lo que equivale a menos de un 8%. La ubicación de este punto de medición se señala en rojo en la Fig. 1.

IV. ANÁLISIS AMBIENTAL

Para los tres emplazamientos en los que se realizaron medidas de viento, se efectuó un análisis ambiental de los cuales se describe con mayor detalle el relacionado con Punta Yeguas. No se trata de un estudio de impacto ambiental, ni por sus contenidos ni por la metodología con que se ha realizado, pero pretende sentar las bases para que, a la hora de realizar dicho estudio, se cuente con un punto de partida concreto

acerca de algunos temas que necesariamente se deben profundizar.

A. Análisis de Punta Yeguas

Este lugar constituye una interfase entre el área metropolitana y la rural del Departamento y a su vez, desde el punto de vista natural, es una interfase entre un ecosistema terrestre largamente intervenido por el hombre, y otro acuático estuarino que suele caracterizarse por su importante productividad biológica y diversidad biótica.

En esta zona de transiciones, coexisten un arco de playa arenosa con puntas rocosas que la limitan, la desembocadura de una cañada sobre la costa, la presencia de gramíneas representativas de una flora original, un monte más o menos importante con fuerte presencia de ejemplares exóticos (eucaliptos y pinos), un establecimiento industrial abandonado, y el Barrio Santa Catalina, cada vez con más fuerte ocupación, a algunos cientos de metros de distancia. Las viviendas o explotaciones agropecuarias en el área contigua al emplazamiento escogido son muy pocas y los caminos existentes no permiten un acceso sencillo al sitio.

Los tres principales efectos adversos potenciales serían los impactos visuales, los impactos sobre la biota y los impactos acústicos.

B. Impacto visual

La ubicación del parque eólico hace que sean muy pocos los observadores con visión permanente y directa de las máquinas desde tierra, no sólo por lo aislado del lugar sino también porque el acceso está protegido por una arboleda más o menos densa de ejemplares de porte importante. La altura de las máquinas (90 m de altura de mástil, más unos 40 m de longitud de aspas) hará que la cuenca visual en el área adyacente aumente. Se tendrán visuales directas desde el Cerro de Montevideo y su mirador, relativamente próximos, que serán sin dudas las más modificadas aunque debido a la esbeltez de los molinos, si bien serán visibles, no serán fácilmente reconocibles cuando estén en funcionamiento. En las visuales de larga distancia desde el puerto y especialmente su escollera, que tiene una permanente afluencia de público, los mástiles no se identificarán debido a su pequeño diámetro en relación a la distancia, y los molinos en funcionamiento se detectarán sobre todo por la sombra de sus aspas girando.

C. Impacto sobre la biota

En cuanto al impacto sobre la biota, la zona se encuentra fuertemente influida por la profunda intervención sobre la naturaleza que implica tanto la gran ciudad como la explotación agropecuaria de pequeña escala (chacras, pastoreo de ganado). La remoción de la cobertura vegetal nativa, ocurrida hace ya mucho tiempo, determina que se hayan perdido también los hábitats naturales para la fauna nativa en general y para la avifauna en particular.

De acuerdo con la información disponible, en la zona de implantación no se han detectado especies de aves ni mamíferos voladores que revistan un especial interés. No es zona de humedales ni de ruta de aves migratorias. La proximidad a la costa hace que las aves más abundantes en el

lugar sean las gaviotas. No se detectó en el área especies amenazadas ni en riesgo de extinción.

D. Impacto acústico

Se realizaron predicciones acerca de los niveles sonoros esperables a diferentes distancias del parque eólico aplicando métodos normalizados a partir de datos medidos en una máquina instalada en el país, y realizando las conversiones necesarias para respetar las diferencias en dimensiones, velocidad de giro y potencia, así como en la velocidad de viento al momento de las mediciones y en los casos de interés para la predicción.

Se concluyó que el nivel sonoro en el entorno debido al funcionamiento del parque eólico para la velocidad de viento de diseño (5,1 m/s) sólo será identificable en la noche en un radio de menos de 500 m en torno a las máquinas. A su vez, no se esperan diferencias apreciables en los niveles sonoros que se registrarían a una misma distancia de la máquina más próxima para las dos configuraciones del parque consideradas. Debido a que los niveles de inmisión están principalmente condicionados por los emisores más próximos; a medida que el punto de interés se aleja de las fuentes, la incidencia de éstas se reduce rápidamente.

Como resultado general, se puede afirmar que sólo el impacto acústico podría tener algún alcance significativo hasta una distancia de aproximadamente 500 m de la máquina más próxima. Esto es válido para todas las configuraciones del futuro parque en Punta Yeguas estudiadas.

E. Análisis de Cuchilla Pereira

La zona está cruzada por numerosas líneas de alta tensión, cuyas torres ya han generado una intervención e impacto importante en el paisaje original.

La densidad de población de muy baja. Sólo algunas viviendas aisladas quedarían directamente inmersas en la configuración del parque, y en general son escasas las que se sitúan a menos de 500 m del borde del mismo. Los niveles sonoros esperables debido al funcionamiento del parque eólico no deberían elevar los niveles de ruido de fondo en forma significativa, por lo que puede aseverarse que no se esperan impactos adversos desde ese punto de vista salvo para las muy pocas casas que estarían a menos de 500m de dos aerogeneradores.

El emplazamiento propuesto para el parque eólico es, desde la perspectiva de su posible impacto visual, sumamente favorable. En lo referente a la biota, la zona está lo suficientemente intervenida como para haber sufrido un cambio generalizado de su cobertura vegetal nativa por lo que se han perdido también los hábitats para la fauna nativa. La avifauna está dominada por especies exóticas y por algunas especies nativas superdominantes razón por la cual el proyecto no induce riesgos para avifauna autóctona o de peculiar interés.

V. CONCLUSIONES

El potencial eólico en los lugares donde se realizaron las medidas de corta duración se dedujo a partir de la buena correlación que se encontró entre los datos relevados y los

obtenidos en el Puerto de Montevideo. Los parques prediseñados resultaron factibles desde los puntos de vista técnico y económico y, de acuerdo al análisis ambiental realizado, de efectos adversos no significativos.

A través del modelo numérico de interpolación de datos de viento que tiene en cuenta la rugosidad del terreno, se dispone de mapas de zonas de igual velocidad media anual para distintas alturas y de mapas de igual factor de capacidad para distintos aerogeneradores considerados en forma aislada.

Se destaca que la velocidad media anual a una altura de 90m, que corresponde a la altura de los ejes de los aerogeneradores usuales, supera en los tres años estudiados y en toda la ciudad los 7m/s, con velocidades de viento sobre la costa del orden de 7% más altas.

Se identificaron aerogeneradores de 2MW de potencia nominal que presentan curvas características debidamente sintonizadas con el recurso eólico con factores de capacidad que superan el 31% en todos los casos.

A modo de verificación, se compararon los resultados obtenidos con mediciones de velocidad de viento realizadas para otros proyectos, obteniéndose diferencias menores a un 8%.

En la actualidad, la Intendencia Municipal ha comenzado las gestiones conducentes a la instalación de parques eólicos priorizando la zona de Punta Yeguas.

VI. REFERENCIAS

Revistas:

- [1] C. Sherman, "A mass consistent model for wind fields over complex terrain", *Journal of Applied Meteorology*, vol.17, pp. 312-319, 1978

Libros:

- [2] CIEMAT, *Principios de Conversión de la Energía Eólica*, Ed. CIEMAT, Madrid, 2000, pp.7.1-7.29

Informes Técnicos:

- [3] V. Nunes y J. Cataldo, Proyecto BID-CONICYT No 116 "Estudio de la factibilidad del uso de la energía de origen eólico: Implementación de una planta eólica piloto", 1996 -2001.
- [4] R. Guarga y A. Cisa, "Evaluación del potencial eólico nacional", Informe del acuerdo firmado entre la UTE y la Facultad de Ingeniería, IMFIA – IIE, Facultad de Ingeniería
- [5] J. Cataldo y V. Nunes, "Evaluación del Potencial Eólico en el Uruguay a escala Industrial" Informe del acuerdo firmado entre la U.T.E y la Facultad de Ingeniería, IMFIA - IIE, 1992 – 1993.

Trabajos en Proceedings de Congresos (Publicados):

- [6] V. Nunes, J. Cataldo and G. Casaravilla "Feasibility of the Use of Wind Energy Generation at Sewage Works in Montevideo City", World Renewable Energy Congress, Brighton, England, July 2000.
- [7] J. Cataldo and C. López, "Methodology developed for the wind power assessment in Uruguay", III Congreso Internacional sobre Energía, Ambiente e Innovación Tecnológica, Caracas, Venezuela, 8-11 de noviembre de 1995.
- [8] J. Cataldo and V. Nunes, "Wind Power Assessment in Uruguay", Congress of WREN, Denver, USA, Junio, 1996.
- [9] C. López y J. Cataldo, "Determination of the hourly wind speed field over complex terrain in Southern Uruguay", 1993 ECWEC, Lübeck-Travemünde, Alemania, 8-12 de marzo de 1993.

VII. BIOGRAFÍAS

Ventura Nunes (M'1992, S'2005) es egresada de la Facultad de Ingeniería, UDELAR, con el título de Ingeniero Industrial que revalidó posteriormente

por el de Ingeniero Electricista. En la actualidad, es Profesora Titular del Instituto de Ingeniería Eléctrica y corresponsable del Grupo de Trabajo en Energías Renovables. Ha dirigido diversos proyectos con financiación nacional e internacional sobre energía y energización rural.

José Cataldo. Nació en Montevideo, Uruguay el 24 de agosto de 1961. Se graduó de Ingeniero Industrial, opción Mecánica en 1986 e inició su actividad en el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República donde ocupó cargos de Asistente, Adjunto, Agregado y Profesor Titular en Régimen de Dedicación Total. Realizó la Maestría y el Doctorado en Mecánica de los Fluidos Aplicada en la misma Facultad. Su especialidad es Hidromecánica e Ingeniería del Viento. Es responsable de las actividades que se desarrollan en la Facultad de Ingeniería en Ingeniería del Viento y Energías Renovables, contándose entre los proyectos realizados el diseño y construcción de un túnel de viento, la realización de ensayos aerodinámicos y aeroelásticos de estructuras, estudios de confort eólico, estudios de evaluación del potencial eólico, estudio de vibraciones en turbomáquinas. Su actividad en el ambiente profesional se desarrolla en el área de dispersión de contaminantes atmosféricos y en el estudio de procesos con movimiento de aire como son el secado y la ventilación de grandes ambientes.

Martín Zeballos. Nació en Montevideo, Uruguay, en 1985. Desde el año 2007 es Asistente en el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República.