

# **PARQUE EOLICO SIERRA DE LOS CARACOLES**

## **Resumen Análisis Ambiental**

El parque generador eólico está ubicado en la Sierra de los Caracoles, Departamento de Maldonado y contará con una potencia de 10 MW.

### **1. ANTECEDENTES - PROYECTO PILOTO**

En 1988, UTE y la Universidad de la República firmaron un convenio con el fin de evaluar el potencial eólico en el Uruguay. La Universidad de la República planteó a UTE la construcción de un proyecto eólico piloto con fines técnicos y científicos, consistente en un aerogenerador de 0,15 MW.

La instalación del aerogenerador permitió generar experiencia en el país respecto de esta fuente de energía renovable.

### **2. EL RECURSO EÓLICO EN URUGUAY**

UTE y la Universidad de la República llevaron adelante un Programa de Evaluación del Potencial Eólico a escala nacional.

El proceso de selección de las mejores ubicaciones de los parques eólicos requiere de la determinación del potencial eólico, el cual depende de los estados de la atmósfera, la permanencia de fenómenos atmosféricos asociadas a velocidades de viento elevadas, la altitud sobre el nivel del mar, la topografía y la rugosidad del terreno circundante.

La determinación del potencial eólico en un sitio implica caracterizar el viento en dicho lugar. La mayor parte de las veces no se cuenta con información meteorológica específica de un cierto sitio; por tal motivo, se utilizaron modelos matemáticos y físicos que simulan la realidad, aportando la información meteorológica disponible a nivel nacional.

Se identificaron tres sitios de interés para instalar aerogeneradores en función de la mayor velocidad media y menor nivel de turbulencia del viento:

- Sierra de los Caracoles
- Sierra de las Animas
- Rincón del Bonete

Para el proceso de selección del mejor emplazamiento se consideraron los siguientes criterios:

- caracterización del recurso eólico
- cantidad de energía obtenible en cada zona
- eficiencia en la conversión de energía eléctrica
- accesibilidad a la red de alta tensión
- accesibilidad a la caminería
- aspectos ambientales como ruido, impacto visual y efectos sobre avifauna

## **Sierra de los Caracoles**

El informe técnico de Facultad de Ingeniería concluye: *"Con base a las observaciones previas, parece razonable construir este primer parque eólico en una zona como la Sierra de los Caracoles, donde se conoce la existencia de un excelente recurso y se tiene exhaustivamente descrito el mismo, lo cual daría mayor certeza sobre los resultados que se esperan obtener. Se destaca además que, las características ambientales del lugar no imponen barreras relevantes."*

El viento en el sitio presenta valores de velocidad media anual del orden de 9 m/s (metros/segundo).

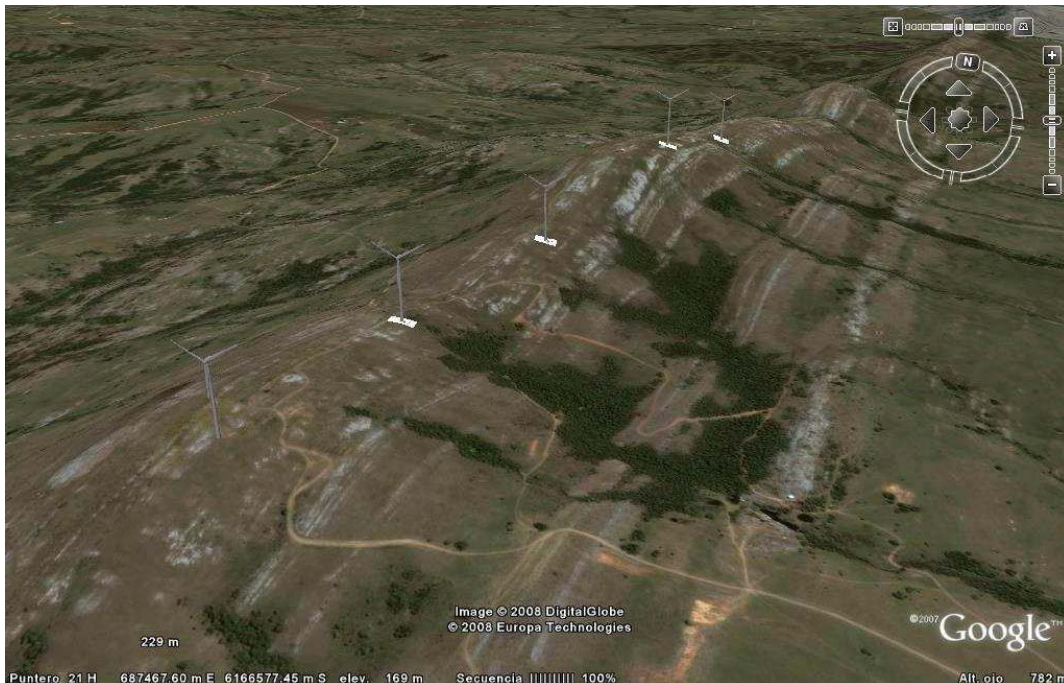
Desde el punto de vista ambiental, se trata de un entorno con importante intervención humana y donde no se encuentran relictos bióticos singulares.

### **3. PROYECTO ACTUAL**

Este proyecto es uno de los primeros parques eólicos de envergadura a instalarse en nuestro país, de ahí su relevancia en el desarrollo futuro de esta energía alternativa y la concreción de nuevas inversiones.

#### **3.1. Características generales del proyecto**

El parque eólico consistirá en su etapa operativa de 5 aerogeneradores de 2 MW (megavatios), que funcionarán en forma automática, con una potencia total de 10 MW.



**Representación de cómo se visualizará el futuro parque eólico  
(Fuente: VESTAS)**

La energía producida por el parque será conducida hasta la Estación de Trasmisión San Carlos mediante una línea que funcionará en 31,5 kV (tensión en kilovoltios). Esta línea es de aproximadamente 16 km de longitud.

### 3.2. Componentes de un aerogenerador

**Aerogenerador.** Un aerogenerador es un equipo que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica a través del movimiento de las aspas y esta energía mecánica en energía eléctrica.

Los principales componentes de un aerogenerador son los siguientes:

**Góndola.** Es el recinto donde se ubica la caja de velocidad, el generador, el transformador, el equipamiento orientador y los servicios de comunicación.

**Aspas o palas de rotor.** Las palas de rotor tienen un núcleo de madera de balsa recubierto con varias capas de fibra de vidrio y, en las zonas más tensionadas, con fibra de carbono. Su tamaño es de 40 metros de largo.

**Rotor.** Sistema de rotación compuesto por un cubo con el eje que sostiene las palas.

**Equipamiento orientador.** Este mecanismo permite que el rotor esté perpendicular a la dirección del viento cuando está en funcionamiento y paralelo a la dirección del viento cuando el mismo es de gran intensidad. La información necesaria para la orientación la proporciona la estación de medida de velocidad y direccionamiento del viento incorporada sobre la góndola.

**Torres.** Las torres son cónico-tubulares (con el fin de aumentar su resistencia), en acero, compuestas por 3 secciones.



### 3.3. Características de los equipos a instalar

Los aerogeneradores son equipos de eje horizontal, con rotores tripala a barlovento.

Origen:	España
Frecuencia nominal:	50 Hz (Herzios de frecuencia)
Potencia nominal:	2 MW
Nº de aerogeneradores:	5
Potencia total:	10 MW
Diámetro del rotor:	80 m
Velocidad de giro nominal:	16,7 rpm
Número de palas:	3
Longitud de palas:	40 m
Altura de las torres:	67 m
Distancia mínima entre torres:	350 m en promedio
Tensión de generación:	690 V
Tensión de salida nominal entre:	31,5 kV
Factor de planta neto esperado:	35 %.

## 4. ANALISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS

De acuerdo al marco legal vigente, este proyecto no requiere la Autorización Ambiental Previa por parte del MVOTMA (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente) ni la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental.

### 4.1. Emisiones sonoras (ruido) de los aerogeneradores

Los niveles sonoros que se asocian con el funcionamiento de un parque eólico dependen de las características y cantidad de equipos instalados.

En general, el efecto que puede generar un parque eólico sobre los niveles sonoros ambientales deja de ser relevante a escasos cientos de metros, aunque podría eventualmente tener interés para alguna especie particularmente sensible a los sonidos de baja frecuencia.

Para la realización de los cálculos de niveles sonoros, se utilizó la información de base que se presenta a continuación.

- El estudio de ruido se realizó en base a datos técnicos de los aerogeneradores a instalar VESTAS V80-2,0 MW:

Potencia:	2 MW.
Altura de la torre:	60 metros
Diámetro del rotor:	80 metros
Velocidad de arranque:	4 m/s
Potencia sonora:	
-	105 dBA – potencia máxima 2MW a velocidad de viento de 15 m/s
-	102 dBA – potencia 1,2 MW a velocidad de viento más frecuente de 10 m/s
-	100 dBA – potencia 0,2 MW a velocidad de viento de 5m/s

dBA = decibeles A (unidad de medida)

- La fuente de ruido se ubica en el generador que se encuentra en la góndola (cima la torre).
- El terreno donde se instala el parque eólico es abierto, no posee construcciones ni grandes obstáculos que reflejen o absorban el ruido generado por los aerogeneradores.
- Se considera que los receptores se encuentran a unos 100 metros sobre el nivel del mar.

### **Marco legal**

No existe normativa de ruido ambiental a nivel nacional ni departamental para la instalación de proyectos industriales o energéticos en zonas rurales.

Por lo tanto, los niveles de ruido calculados se contrastaron con la norma brasileña de ruido de CETESB L11.032 de Julio 1992 (CETESB = Compañía Tecnológica de Saneamiento Ambiental).

Esta norma es la que considera DINAMA (Dirección Nacional de Medio Ambiente) para la evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental.

#### **CETESB (Brasil) - nivel sonoro admisible para zona rural:**

de 7:00 - 19:00 hs	50 dBA
de 19:00 a 22:00 hs	45 dBA
de 22:00 a 7:00 hs	40 dBA

El límite a utilizar es 40 dBA.

### **RESULTADOS**

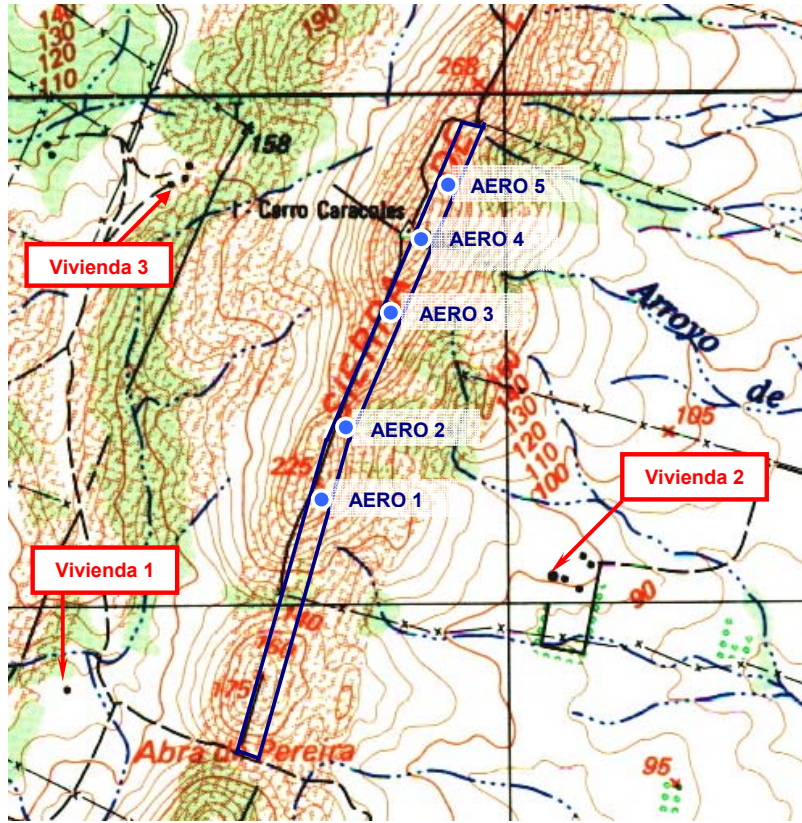
A partir del nivel sonoro provocado por los aerogeneradores con distintas velocidades de viento y potencias de operación, se calculó el nivel sonoro en dBA percibido por un receptor ubicado a 100 metros sobre el nivel del mar y en las viviendas más próximas al proyecto (ver mapa):

- vivienda 1, al E de la sierra, a 1400 metros del aerogenerador 1;
- vivienda 2, al SW de la sierra, a 1000 metros del aerogenerador 1;
- vivienda 3, al W de la sierra, a 1300 metros del aerogenerador 1.

La metodología de cálculo se basó en la elaboración de un modelo matemático que considera los siguientes aspectos:

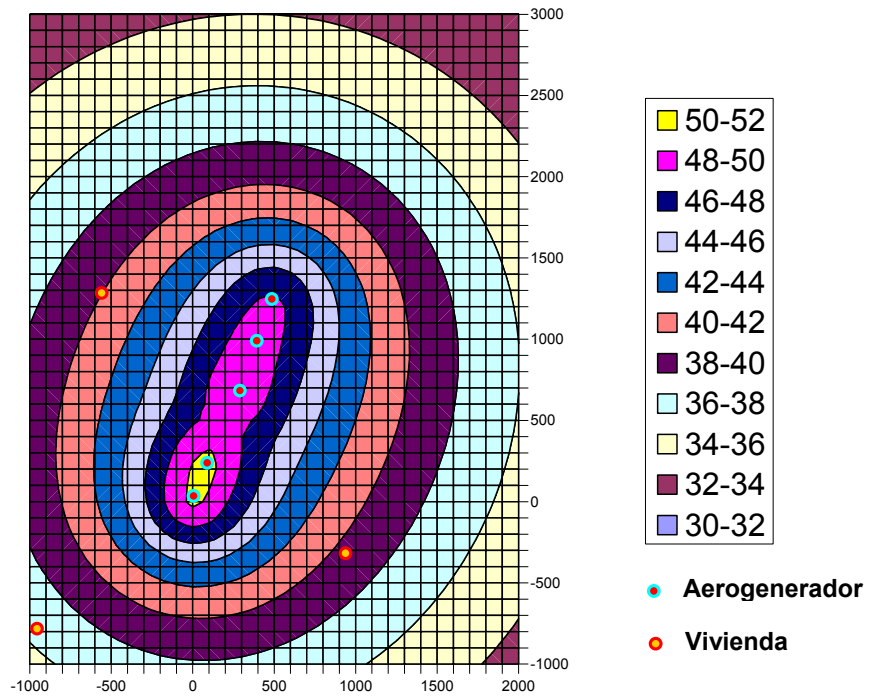
- ubicación de cada aerogenerador y altura sobre el nivel del mar
- distancia entre aerogeneradores
- distancia longitudinal a cada una de las viviendas
- diferencia de altura sobre el nivel del mar entre cada aerogenerador y cada vivienda.

Este modelo permite predecir el impacto sonoro (nivel de ruido) acumulado de los 5 aerogeneradores en cada uno de los puntos receptores (viviendas). Cada uno de los niveles de ruido se compara con el límite máximo de la norma de referencia para determinar si se cumplirá con la misma.



Los resultados de los cálculos se presentan en los siguientes gráficos y tablas.

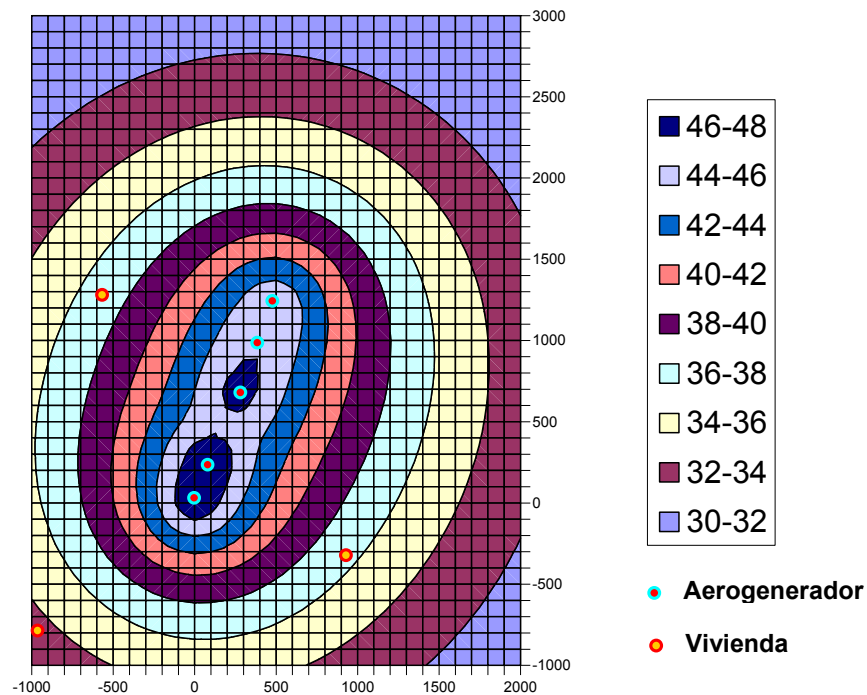
- **Potencia máxima 2 MW generado con velocidad de viento de 15 m/s**



Los niveles de ruido en las viviendas más cercanas son las siguientes:

	X (m)	Y (m)	Altura sobre el nivel del mar (m)	Nivel de ruido (dBA)
<b>Vivienda 1</b>	-964	-799	80	<b>36,4</b>
<b>Vivienda 2</b>	936	-349	100	<b>39,3</b>
<b>Vivienda 3</b>	-564	1251	140	<b>40,1</b>

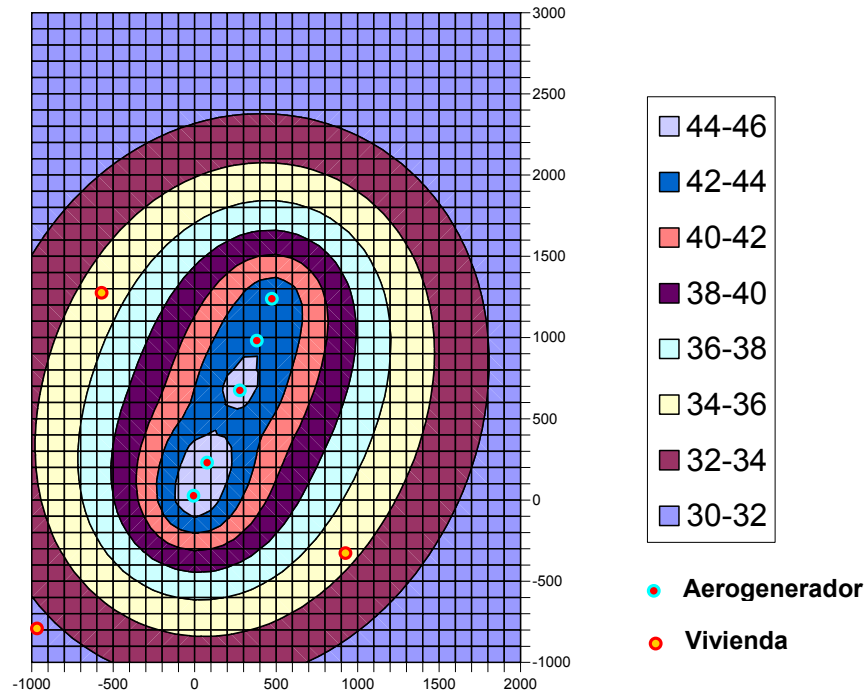
- **Potencia 1,2 MW generado velocidad de viento más probable de 10 m/s**



Los niveles de ruido en las viviendas más cercanas son las siguientes:

	X (m)	Y (m)	Altura sobre el nivel del mar (m)	Nivel de ruido (dBA)
<b>Vivienda 1</b>	-964	-799	80	<b>33,4</b>
<b>Vivienda 2</b>	936	-349	100	<b>36,3</b>
<b>Vivienda 3</b>	-564	1251	140	<b>37,1</b>

- **Potencia 0,2 MW generado con velocidad de viento de 5 m/s**



Los niveles de ruido en las viviendas más cercanas son las siguientes:

	X (m)	Y (m)	Altura sobre el nivel del mar (m)	Nivel de ruido (dBA)
<b>Vivienda 1</b>	-964	-799	80	<b>31,4</b>
<b>Vivienda 2</b>	936	-349	100	<b>34,3</b>
<b>Vivienda 3</b>	-564	1251	140	<b>35,1</b>

### **CONCLUSIONES**

Dado que la CETESB establece un límite de 40 dBA para ambientes externos en horario nocturno, el ruido producido por los aerogeneradores a esta velocidad cumple con la citada norma de referencia.

En condiciones de máxima generación (velocidad de viento de 15 m/s), el valor estimado más alto en una de las viviendas más próximas es de 40,1 dBA.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que vientos de 15 m/s son considerados vientos fuertes de acuerdo a la escala de Beaufort. Estos vientos fuertes provocan que todos los árboles se muevan y que resulte difícil caminar contra el viento; en estas condiciones el ruido de fondo (ruido del ambiente sin el funcionamiento de los aerogeneradores) es muy importante, por lo cual la afectación sonora de los aerogeneradores será poco significativa.

De acuerdo al análisis realizado, la instalación de los 5 aerogeneradores no producirá un impacto negativo significativo.

## ***MEDIDAS DE MONITOREO Y CONTROL***

A partir de la puesta en operación del parque eólico, se ejecutará un plan de monitoreo de ruidos en el entorno del parque eólico para verificar los resultados de los cálculos realizados con el modelo.

### **4.2. Afectaciones al paisaje**

#### ***Impacto visual diurno***

La Sierra de los Caracoles presenta vistas panorámicas tanto al Este como al Oeste de la misma, con campos visuales amplios.

Al igual que en la mayor parte de los parques eólicos instalados a nivel mundial, los aerogeneradores de Sierra de Caracoles estarán pintados de color blanco, para que su percepción visual sea mínima en la mayoría de las situaciones.

La capacidad de los aerogeneradores de mimetizarse con el cielo de fondo depende:

- la intensidad de la luz según la hora del día y el estado del tiempo;
- la nubosidad presente;
- el ángulo de incidencia de los rayos solares en la estructura;
- el ángulo de ubicación del observador.

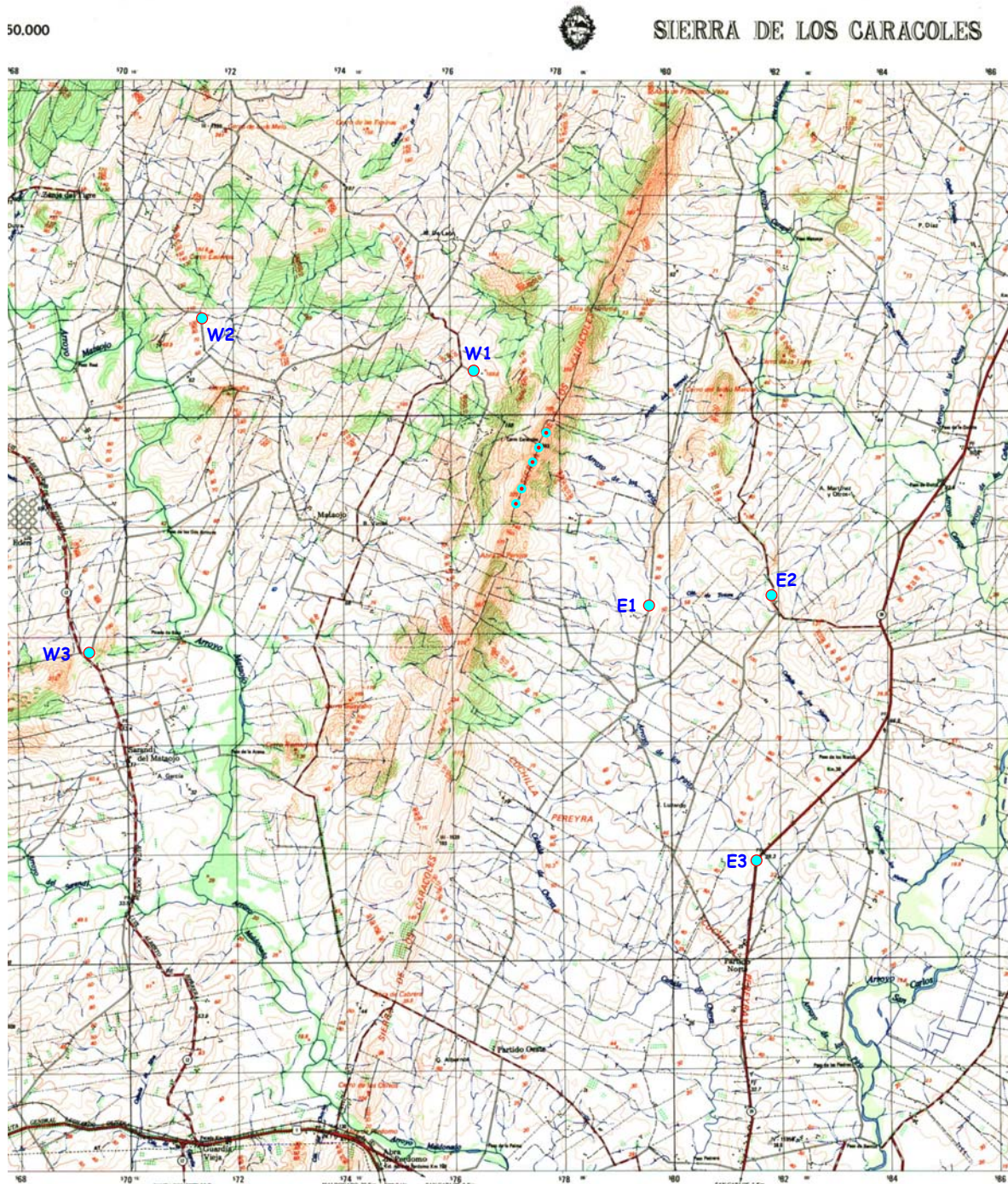
Algunas combinaciones de estos efectos y su incidencia en el grado de visibilidad o mimetización de los aerogeneradores son claramente observables en la situación actual de la Sierra de los Caracoles. La presencia del aerogenerador existente pintado de blanco muestra que el mayor grado de mimetización ocurre en caso de cielo muy nuboso o de cielo despejado y alta reflexión de la luz solar en su torre.

Para evaluar el impacto visual de los cinco aerogeneradores, se realizaron seis fotocomposiciones; las mismas se basan en tres tomas fotográficas a distinta distancia tanto del Este como del Oeste de la sierra. Cada una de estas vistas de la sierra se presenta en la situación sin proyecto y con proyecto (fotomontaje de aerogenerador).

Las fotocomposiciones realizadas muestran la peor situación posible, por las siguientes imperfecciones de la técnica aplicada:

- todos los aerogeneradores implantados son del mismo tamaño (ajuste respecto al aerogenerador actual visible en cada foto); no fue posible realizar un ajuste del tamaño de cada aerogenerador según la distancia entre el observador (fotógrafo) y cada uno de ellos;
- no considera el efecto de la incidencia y reflexión de la luz y de la nubosidad de fondo o sea los aerogeneradores se muestran más visibles que lo que realmente acaecería en la situación real.

En el mapa siguiente, se muestra cada uno de los seis puntos desde donde se realizaron las tomas fotográficas.





***E1 Vista desde camino vecinal a 2,8 km del proyecto.***



***E2 Vista desde camino vecinal a 5 km del proyecto.***



***W2 Vista desde Ruta 12 km 30.***



***W2 Vista desde Ruta 12 km 27,3.***

## **CONCLUSIONES**

El análisis de las fotos de la situación actual sin proyecto y las fotocomposiciones con proyecto permite concluir:

- el bajo número de aerogeneradores a implantar y la distancia entre los mismos determinarán que el impacto visual negativo no sea significativo;
- si bien las Rutas N° 39 y 12 son las ubicaciones desde donde un mayor número de personas puede visualizar el parque eólico a implantar, la distancia es lo suficientemente grande como para que los aerogeneradores pierdan relevancia en el paisaje general de la Sierra de los Caracoles y no resulten en un impacto negativo de significación;
- a medida que nos aproximamos al lugar de implantación de los aerogeneradores, la presencia visual se hace mayor pero también el número de viviendas y predios desde donde se visualizan se reduce considerablemente.

Por lo expuesto, se estima que el impacto visual diurno del parque eólico no será significativo.

### ***Impacto visual nocturno***

Los cinco aerogeneradores contarán con una luz roja de seguridad en la parte superior de la consola.

El impacto visual nocturno de estas luces rojas será negativo pero poco significativo y se diluirá con la distancia.

### **4.3. Campos electromagnéticos**

La operación del parque implica la transmisión de la energía generada en los aerogeneradores a través de una línea de energía desde la subestación en el Abra de Pereira hasta la Estación de Transformación San Carlos.

Al transmitir la energía generada, la línea produce campos eléctricos y magnéticos.

### ***Comentarios generales sobre campos electromagnéticos***

Cada país establece sus propias normas nacionales sobre exposición a campos electromagnéticos. Sin embargo, la mayoría de estas normas nacionales se basan en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP).

En el caso de Uruguay, no existen normas legales que regulen la exposición a campos electromagnéticos.

Por lo expuesto, el Directorio de UTE resolvió aplicar las directrices sobre límites de exposición a campos electromagnéticos recomendadas por ICNIRP, con lo cual se obliga a que sus instalaciones cumplan con los siguientes límites:

### Límites de exposición recomendados por la ICNIRP

	Red energía eléctrica (frecuencia 50 Hz)			
	Campo eléctrico		Campo magnético	
Unidad de medida	kV/m (kilovoltio x metro)	V/m (voltio x metro)	$\mu$ T (microTesla)	mG (miliGauss)
Límites de exposición para la población en general	5	5000	100	1000

Fuente: ICNIRP

ICNIRP es una organización no gubernamental, reconocida formalmente por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo y la Unión Europea, que evalúa los resultados de estudios científicos realizados en todo el mundo. Basándose en un análisis con profundidad de todas las publicaciones científicas, la ICNIRP elabora unas directrices en las que establece límites de exposición recomendados. Estas directrices se revisan periódicamente y, en caso necesario, se actualizan.

Estas directrices son una medida de prevención dado que, hasta el presente, no se ha establecido la existencia de una relación causa-efecto entre campos electromagnéticos de baja frecuencia (ej. equipamiento eléctrico) y afectaciones a la salud, como ser el cáncer.

Por lo expuesto, estas directrices marcan un determinado umbral por debajo del cual la exposición a campos electromagnéticos se considera segura, según los conocimientos de la ciencia. No se deduce, sin embargo, de forma automática, que por encima del límite indicado la exposición sea perjudicial.

Las directrices recomiendan prevenir la exposición a campos electromagnéticos a niveles en los que se producen cambios de comportamiento perceptibles en animales.

Este umbral de cambios de comportamiento se produce a 5000  $\mu$ T o 50000 mG y no es igual al límite máximo de exposición recomendado, sino que la ICNIRP aplica un factor de seguridad de 50 para obtener el valor recomendado para la población general (100  $\mu$ T o 1000 mG).

O sea, los niveles máximos de exposición para población general en el entorno de las instalaciones eléctricas son al menos 50 veces menores (100  $\mu$ T o 1000 mG) que el umbral en el que se manifiestan los primeros cambios de comportamiento en animales (5000  $\mu$ T o 50000 mG) y no una afectación a la salud de los animales.

### ***Campo magnetico en electrodomesticos***

En la tabla siguiente se presentan el campo magnético que generan algunos artefactos eléctricos de uso doméstico.

**Intensidades del campo magnético típicas  
de algunos electrodomésticos a diversas distancias**

Aparato eléctrico	A una distancia de 3 cm ( $\mu\text{T}$ )	A una distancia de 30 cm ( $\mu\text{T}$ )	A una distancia de 1 m ( $\mu\text{T}$ )
Secador de pelo	6 – 2000	0,01 - 7	0,001 - 0,003
Máquina de afeitar	15 – 1500	0,08 - 9	0,001 - 0,003
Aspiradora	200 – 800	2 - 20	0,013 - 0,2
Luz fluorescente	40 – 400	0,5 - 2	0,002 - 0,025
Horno microondas	73 – 200	4 - 8	0,25 - 0,6
Radio portátil	16 – 56	1	Menor a 0,01
Horno eléctrico	1 – 50	0,15 - 0,5	0,01 - 0,04
Lavadora	0,8 – 50	0,15 - 3	0,01 - 0,15
Plancha	8 – 30	0,12 - 0,3	0,01 - 0,03
Lavavajillas	3,5 – 20	0,6 - 3	0,07 - 0,3
Computadora	5 – 300	Menor a 0,01	
Frigorífico	0,5 - 1,7	0,01 – 0,25	Menor a 0,001
Televisor de color	2,5 – 50	0,04 - 2	0,01 - 0,15

Fuente: Oficina federal alemana de seguridad radiológica (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS), 1999.

Nota: Se recuerda que, en términos generales, el campo magnético desciende con el cuadrado de la distancia a la fuente de emisión o sea, a una distancia de 2 metros de un equipo eléctrico el campo magnético sería 4 veces menor que el medido al lado del equipo.

### ***Estimación de la exposición a campos magnéticos***

A los efectos de evaluar el posible impacto de la línea de transmisión en 31,5 kV, se presenta a continuación los valores registrados durante relevamientos realizados por UTE en instalaciones con características constructivas y operativas similares: líneas en 15, 30 y 60 kV y subestación de 60 a 30 kV.

### Registros de CEM en instalaciones de UTE

Instalación: Líneas en 15 y 30 kV  
 Ubicación: Entre Estación Rincón de la Bolsa y Estación Libertad  
 Departamento: San José  
 Fecha: 29/08/03

Estación	Tensión	Línea a	Ubicación	Campo magnético (mG)	Carga (A)
Rincón de la Bolsa	15 kV	Cassarino	Junto a línea de 30 KV - ½ del vano	11.9	44
	15 kV	Cassarino	Sola - ½ del vano	4.3	44
	15 kV	Alternativa	½ del vano	2	57
	15 kV	Autódromo	½ del vano	1	8
	30 kV	Libertad	Junto a columna (h=13m)	6.8	81
	30 kV	Libertad	½ del vano	8.6	81
Libertad	30 kV	La Barra	½ del vano	1.7	17
	30 kV	Conaprole	½ del vano	2.7	47
	30 kV	Bomprole	Junto a columna	0.7	14
	30 kV	Bomprole	½ del vano	1.2	14

Instalación: Subestación convertora 60 a 30 kV  
 Ubicación: Cardona  
 Departamento: Colonia  
 Fecha: 09/07/98

Punto de medición	Campo magnético miliGauss (mG)	Campo eléctrico Voltio/metro (V/m)
Portón de acceso a la estación	1,1	14
Entre el cerco y salidas de 15kV	3,2	10
A un metro del transformador en operación	12,7	460
Valores máximos entre la senda de las barras	17	2300
Línea de llegada en 60 kV	1,7	250
Línea de salida en 15 kV	0,2	500

Instalación: Línea en 60 kV  
 Ubicación: Entre Estación Reductora Las Toscas y Estación La Floresta  
 Zona: Las Toscas  
 Departamento: Canelones  
 Fecha: 01/08/03

Ubicación		Campo magnético (mG)		Campo eléctrico (V/m)
		Real1	Calculado2	Real1
En columna a 1 m del suelo	Debajo de la línea	2,0	4,5	90
	A 3 m y perpendicular al eje	1,8	4,0	119
	A 5 m y perpendicular al eje	1,6	3,6	131
	A 10 m y perpendicular al eje	1,1	2,5	-
A 14 m de la columna y a 1 m del suelo	Debajo de la línea	2,1	4,7	
	A 3 m y perpendicular al eje	1,7	3,8	-
En la mitad del vano y a 1 m del suelo	Debajo de la línea	3,0	6,7	-
	A 3 m y perpendicular al eje	2,6	5,8	-
A 14 m de la columna y a 1 m del suelo sobre terraplen vía tren de 3 m de altitud	Debajo de la línea	3,3	7,4	180
	A 5 m y perpendicular al eje	2,6	5,8	245

Notas: 1 Medición realizada a las 11:30 horas a 65 A de carga  
 Calculado a máxima carga anual de Las Toscas (14,85MVA = 145A el 31/12/02)

### **CONCLUSIÓN**

De acuerdo a los resultados anteriormente presentados, se estima que los valores de campo eléctrico y magnético en el entorno de la línea y la subestación estarán muy por debajo de los límites de exposición para población en general recomendados por ICNIRP y la OMS.

### **MEDIDAS DE MONITOREO Y CONTROL**

Cuando el parque eólico comience a funcionar, está previsto realizar un monitoreo (mediciones) de campos eléctricos y magnéticos, a los efectos de confirmar que la subestación y la línea de transmisión cumplen con las directrices de ICNIRP.