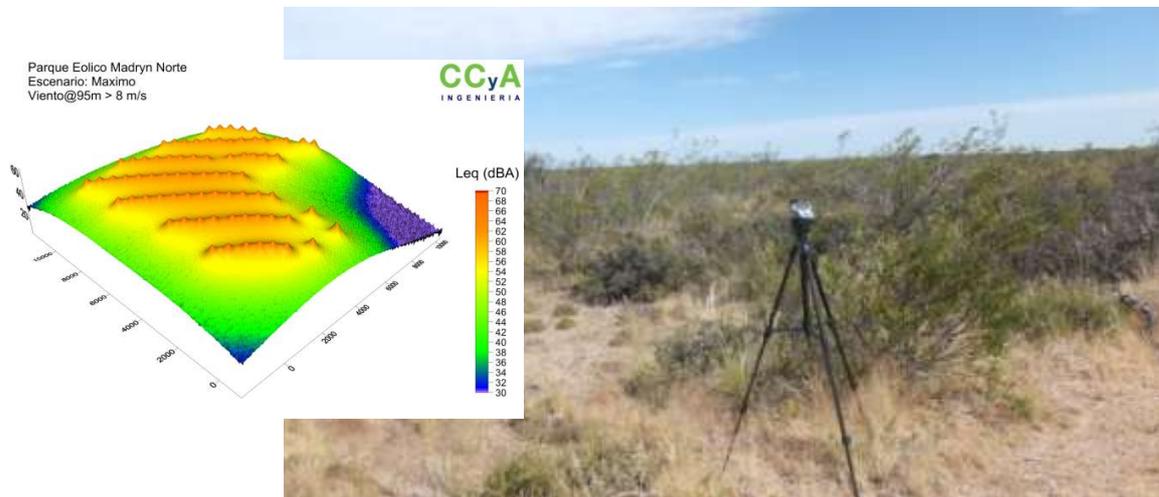


## EIA Parque Eólico Madryn Norte

# Anexo: Modelo Matemático de Ruido



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
1.1	OBJETIVO .....	3
1.2	METODOLOGIA .....	3
1.3	GENERACIÓN DE RUIDOS EN UN PARQUE EÓLICO .....	3
<b>2</b>	<b>DESARROLLO .....</b>	<b>4</b>
2.1	CARACTERIZACION DEL RUIDO EN EL SITIO DEL PROYECTO .....	4
2.2	CARACTERIZACION DE LAS EMISIONES DE RUIDO DEL PROYECTO .....	6
2.3	MODELO MATEMATICO.....	7
2.3.1	<i>Modelo ANDREA</i> .....	7
2.3.2	<i>Implementación</i> .....	8
2.3.3	<i>Escenarios</i> .....	9
<b>3</b>	<b>APLICACIÓN DEL MODELO .....</b>	<b>10</b>
3.1	RESULTADOS EN EL INTERIOR DEL PREDIO.....	10
3.2	RESULTADOS EN EL EXTERIOR DEL PREDIO.....	10
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>19</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 OBJETIVO

El objetivo del estudio fue el siguiente:

- Predecir el impacto por ruidos que el Parque Eólico Madryn Norte (PEM N) producirá durante su etapa de operación en el entorno del predio.

## 1.2 METODOLOGIA

Para alcanzar el objetivo se realizaron las siguientes tareas:

- Monitoreo de ruidos en la zona de interés, para evaluar la línea de base y fuentes presentes en la zona
- Caracterización de fuentes futuras
- Implementación y aplicación de un modelo matemático de propagación de ondas sonoras
- Evaluación de impactos a través de los resultados del modelo, tanto dentro como fuera del predio y en relación a la situación de base existente

## 1.3 GENERACIÓN DE RUIDOS EN UN PARQUE EÓLICO

Los aerogeneradores producen ruido derivado de su propio funcionamiento.

En términos generales, hay cuatro factores que determinan el grado de influencia en el exterior del predio del ruido generado por estos equipos:

- el propio ruido producido por los aerogeneradores,
- la posición de los aerogeneradores,
- la distancia a la que se encuentran los residentes del área con respecto a los aerogeneradores,
- el ruido de fondo existente en la zona.

A su vez, existen dos fuentes de ruido en un aerogenerador en funcionamiento:

- ruido mecánico
- ruido aerodinámico.

El ruido mecánico procede principalmente del generador, la caja multiplicadora y las conexiones, y puede ser fácilmente reducido mediante técnicas convencionales. Esta componente es continua, mientras el aerogenerador está activo, aunque su intensidad es una función de la velocidad del viento. Existe otra componente mecánica, de menor intensidad y no continua (baja duración) asociada a la rotación del equipo para orientarse al viento.

El ruido de naturaleza aerodinámica, es producido por el movimiento de las palas al rozar el aire. Esta componente es de baja frecuencia y tiene un tratamiento más difícil por métodos convencionales.

Este ruido puede ser disminuido reduciendo la velocidad del rotor. Actualmente, los aerogeneradores se diseñan con criterios para disminuir el ruido aerodinámico, y los modelos en el mercado tienen niveles de ruido que en general están por debajo del "ruido de fondo" del propio viento. Por ejemplo, el roce de las palas con el aire produce un ruido tal que, en general, se sugiere que la casa más cercana esté al menos a 200 m.

## 2 DESARROLLO

### 2.1 CARACTERIZACION DEL RUIDO EN EL SITIO DEL PROYECTO

Para caracterizar el nivel de ruido de base en el sitio de implantación del proyecto y, especialmente, en el entorno exterior, se realizaron mediciones de ruido.

Se midió en 21 puntos, cubrieron los siguientes sectores (ver figura siguiente):

- Perímetro del PEM N
- Puntos internos del PEM N de interés
- Receptores externos potencialmente críticos

Se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla a continuación.

Se puede observar que las principales fuentes de ruido en el sitio y alrededores son:

- El tránsito sobre la RN3, para los puntos influenciados por la misma
- El viento
- La presencia de distintas aves

Para las fuentes principales se observó que:

- Los puntos con mayor nivel continuo sonoro equivalente corresponden a los influenciados por el viento, principalmente, y por la RN3 en segundo término.
- El efecto del viento en estos puntos, aún pasando de leve a moderado, produce un incremento del orden de 10 dBA,
- Para viento leve y puntos sin influencia de la RN3, el nivel sonoro es inferior a 40 dBA, pero ante esta situación se debe considerar que el PEM N no estará operativo.

*Resultados del monitoreo de ruido para caracterizar la línea de base para el modelo matemático.*

Punto	Leq (dBA)	Fuentes de ruido		
		Viento	Transito RN3	Otros
1	36.7	Brisa	No	
2	39.7	Brisa	No	
3	35.6	Brisa	No	
4	36.3	Brisa	No	
5	58.2	Rafagas	No	
6	64.7	Intenso	No	
7	58.2	Intenso	No	
8	59.9	Rafagas	No	
9	55.6	Moderado	No	
10	47.6	Moderado	No	
11	45.9	Moderado	No	
12	56.8	Moderado	No	
13	53.2	Moderado	No	
14	52.5	Moderado	No	
15	46.9	Leve	No	
16	58.2	Rafagas	Si	
17	52.1	Rafagas	Si	
18	56.2	Rafagas	Si	
19	57.1	Rafagas	Si	
20	61.9	Rafagas	Si	
21	57.4	Rafagas	No	



*Puntos de monitoreo de ruidos.*

## 2.2 CARACTERIZACION DE LAS EMISIONES DE RUIDO DEL PROYECTO

Para la etapa de operación del parque eólico, las fuentes de ruidos son los propios aerogeneradores.

Para caracterizar las emisiones sonoras se utilizó la información provista por el proveedor Vestas, referida a mediciones específicas de ruidos debidos al modelo de aerogenerador previsto para el proyecto: V100 – 2.0 MW 50 Hz VCS (Vestas, 2015).

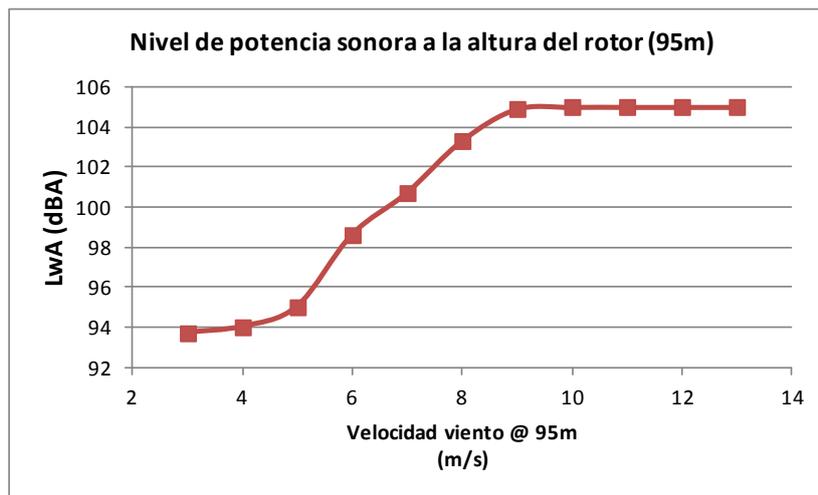
Las mediciones se realizaron para distintas velocidades del viento, y tuvieron como objetivo determinar el nivel de presión sonora generado por la fuente, para lo cual se aplicó la Norma IEC 61400-11 ed. 3 (2012).

Los resultados de nivel de presión sonora en la fuente son los que se presentan a continuación.

Se observa una variación de entre 93.7 dBA y 105.0 dBA, para las velocidades de viento de operación inferiores y superiores, respectivamente.

Nivel de presión sonora del aerogenerador ( $L_{WA}$  modo 0) en función de la velocidad del viento a la altura del rotor.

Viento @ 95m (m/s)	$L_{WA}$ (dBA)
3	<b>93.7</b>
4	94
5	95
6	<b>98.6</b>
7	100.7
8	103.3
9	104.9
10	<b>105.0</b>
11	105.0
12	105.0
13	105.0



Potencia sonora en función del viento

## 2.3 MODELO MATEMATICO

### 2.3.1 Modelo ANDREA

Para estudiar el impacto de la operación del Parque Eólico se utilizó una herramienta de simulación computacional, que permite predecir el nivel sonoro futuro.

El estudio de evaluación de ruidos se llevó a cabo empleando el modelo matemático de propagación de sonido **ANDREA** (*Análisis Numérico Digital de Ruido Exterior Ambiental*), desarrollado por el autor (Tarela, 2002).

El modelo es geoméricamente tridimensional (3D), tanto para la evaluación de propagación cuanto para la posición de las fuentes y obstáculos involucrados.

El modelo permite contemplar los efectos causados por fuentes puntuales, lineales, planas y/o multipolares (dipolos y cuadripolos acústicos), de acuerdo a la generación de ruido propia de cada mecanismo particular del proyecto bajo análisis.

Contempla la interacción del frente de propagación de ondas con los obstáculos de envergadura (edificios, tanques, etc.), incluyendo la absorción parcial de la energía del frente de ondas durante el proceso de reflexión.

El modelo tiene en cuenta los efectos de atenuación por propagación en el aire, terreno, etc. Además, permite evaluar el efecto de difracción sobre los bordes de los obstáculos acústicos, de modo de no subestimar la propagación del sonido en zonas habitualmente consideradas “de sombra”.

Las variables ambientales que intervienen en los efectos de propagación y atenuación de ondas sonoras también son consideradas en el modelo: temperatura del aire, humedad relativa ambiente, presión atmosférica, etc.

Para el caso estudiado aquí, el modelo ha sido aplicado exitosamente en casos anteriores como los Parques Eólicos de Rawson y Madryn en Chubut. En particular, en el Parque Eólico de Rawson, que ya está en operación, se pudo constatar que los impactos predichos por el modelo se han correspondido con los monitoreos realizados.

### **2.3.2 Implementación**

Los datos geométricos de las fuentes son los detallados en la sección de descripción de tecnología, recordándose que la altura del buje es de 95 m, y el diámetro de palas es de 100 m.

La ubicación de los aerogeneradores responde al plano de proyecto presentado en la sección de descripción del proyecto. Se trata de una distribución en 7 líneas paralelas desarrolladas en la dirección SE-NW aproximadamente, de 7 a 13 turbinas cada una. A los efectos de su inclusión en el modelo, se utilizaron las coordenadas geográficas de cada uno de ellos, y se las trasladó a un sistema local de coordenadas.

A partir de los relevamientos de campo realizados y del plano recién citado, se determinó que no existirán obstáculos acústicos de significación en el predio ni en los alrededores.

Además, se han definido estaciones de seguimiento cuya localización geográfica se corresponde con puntos particulares del sitio, a saber, vértices del predio y entrada al predio, según muestra la figura siguiente. El punto C puede asignarse al receptor crítico del casco de la estancia vecina, y el punto Ingreso se puede asignar al ingreso de las instalaciones de la cantera cruzando la RN3, como referencias.



*Localización de estaciones de seguimiento para el modelo de ruidos.*

### 2.3.3 Escenarios

Para evaluar el impacto sonoro, se calculan los campos de ruido en distintas situaciones. En todas ellas se ha supuesto que los 75 aerogeneradores del parque eólico están en funcionamiento en simultáneo (condición de máxima).

Se consideraron 3 escenarios operativos distintos, asociados a 3 condiciones de viento que producen niveles mínimos, medios y máximos de emisión sonora en las fuentes del proyecto. Los mismos surgen de la tabla recién presentada:

*Nivel de presión sonora del aerogenerador ( $L_{WA}$ ) para los 3 escenarios ensayados.*

Escenario	Viento @ 95 m (m/s)	LwA (dBA)
Mínimo	3	<b>93.7</b>
Medio	6	<b>98.6</b>
Máximo	> 10	<b>105.0</b>

### 3 APLICACIÓN DEL MODELO

Más abajo se presentan las salidas del modelo, como campos de distribución de nivel sonoro continuo equivalente a nivel de percepción. Para cada caso se han confeccionado 2 figuras, una con curvas de nivel para poder apreciar el alcance de la propagación del ruido de los aerogeneradores, y otra que permite visualizar la atenuación hacia el exterior en una vista 3D.

#### 3.1 RESULTADOS EN EL INTERIOR DEL PREDIO

En todos los casos se aprecia el impacto de cada aerogenerador, que es bien localizado. De esta manera, siempre los ruidos de mayor intensidad se dan dentro del predio del PEM N.

Para cada escenario simulado, se han registrado los siguientes niveles máximos de ruido dentro del predio y a nivel del suelo, donde transitará mayoritariamente el personal de operación del parque eólico:

*Nivel de presión sonora máximo dentro del predio, para los 3 escenarios ensayados.*

Escenario	Leq máximo (dBA)
Mínimo	54.6
Medio	59.5
Máximo	65.9

Estos valores son relativamente bajos, y están lejos de los límites establecidos por las normas de higiene y seguridad vigentes. Se debe mencionar que este análisis se refiere a las condiciones a nivel de suelo, no incluyéndose aquí aquellas que puedan tener lugar dentro de la cabina de cada aerogenerador, donde se deberán tener los recaudos del caso para la protección auditiva del personal.

#### 3.2 RESULTADOS EN EL EXTERIOR DEL PREDIO

Siguiendo con la evaluación del impacto ambiental, en todos los escenarios se observa que el conjunto de todos los equipos produce curvas de igual presión sonora que tienden a bordear el PEM N, en función de la geometría de distribución de viales.

Para el escenario de mínima se observa que sobre el límite del predio del PEM N se tiene un nivel de ruido inferior a 45 dBA, aproximadamente. En algunos vértices, el nivel de ruido es algo superior a 45 dBA, sin llegar a 46 dBA.

Fuera del predio, el nivel cae por debajo de 45 dBA. De esta manera, en todos los puntos señalados como potenciales receptores críticos, el nivel de ruido es despreciable.

En el escenario de viento medio, sobre el contorno del PEM N se alcanzan niveles de entre 45 y 50 dBA, y la curva de nivel de 45 dBA se ha desplazado al exterior.

En todos los puntos potenciales receptores críticos, el nivel de ruido está por debajo de 50 dBA, e incluso en los vértices del PEM N apenas se supera este valor en un par de casos.

Finalmente, como era de esperar el máximo impacto se produce para los vientos más intensos, siendo que sobre el límite del PEM N se pueden alcanzar entre 50 y 55 dBA. En los vértices del predio se registran valores de entre 45 y 57 dBA.

En todos los potenciales receptores críticos, el nivel de ruido debido al PEM N continua siendo poco significativo, con valores por debajo de 55 dBA.

La tabla siguiente sintetiza los valores obtenidos con la simulación en las estaciones de seguimiento del modelo matemático:

*Nivel de presión sonora en estaciones de seguimiento del modelo para los 3 escenarios ensayados.*

Estación de Seguimiento	Leq (dBA) según Escenarios		
	Mínimo	Medio	Máximo
Acceso al predio	43.9	48.8	55.2
Vértice A	34.1	39.0	45.4
Vértice B	39.5	44.4	50.8
Vértice C	37.9	42.8	49.2
Vértice D	45.3	50.2	56.6
Vértice E	45.9	50.8	57.2
Vértice F	35.3	40.2	46.6

Para evaluar el impacto real de los ruidos generados por el PEM N en el exterior del predio, se debe considerar que existen otras fuentes de ruido, según se ha verificado y señalado en las campañas de monitoreo de ruidos.

Si bien el tránsito en la RN3 produce los mayores picos de ruido en su entorno, y los pájaros generan ruidos durante el día, se debe destacar que es la acción del viento la que mayoritariamente contribuye a que los niveles sonoros aumenten cuando el mismo se incrementa. En este sentido, a través de este estudio y otros realizados en la zona, se ha observado que típicamente se observa un nivel de ruido de fondo dominado por la turbulencia eólica del siguiente orden de magnitud:

- < 45 dBA para calmas
- 45 a 55 dBA para vientos leves
- 55 a 65 dBA para vientos moderados (ráfagas)
- > 65 dBA para vientos fuertes

Por supuesto, el PEM N opera a partir de que el nivel de viento es tal que permite la conversión mínima de energía eólica. En relación a los rangos previos, el PEM N comenzará a operar cuando los vientos estén en el rango superior de los denominados leves. Para esta situación, se espera a nivel de piso un nivel de ruido en el rango entre 34 y 55 dBA. Este nivel aumenta con el incremento de la intensidad del viento, y para vientos intensos se superan habitualmente los 65 dBA.

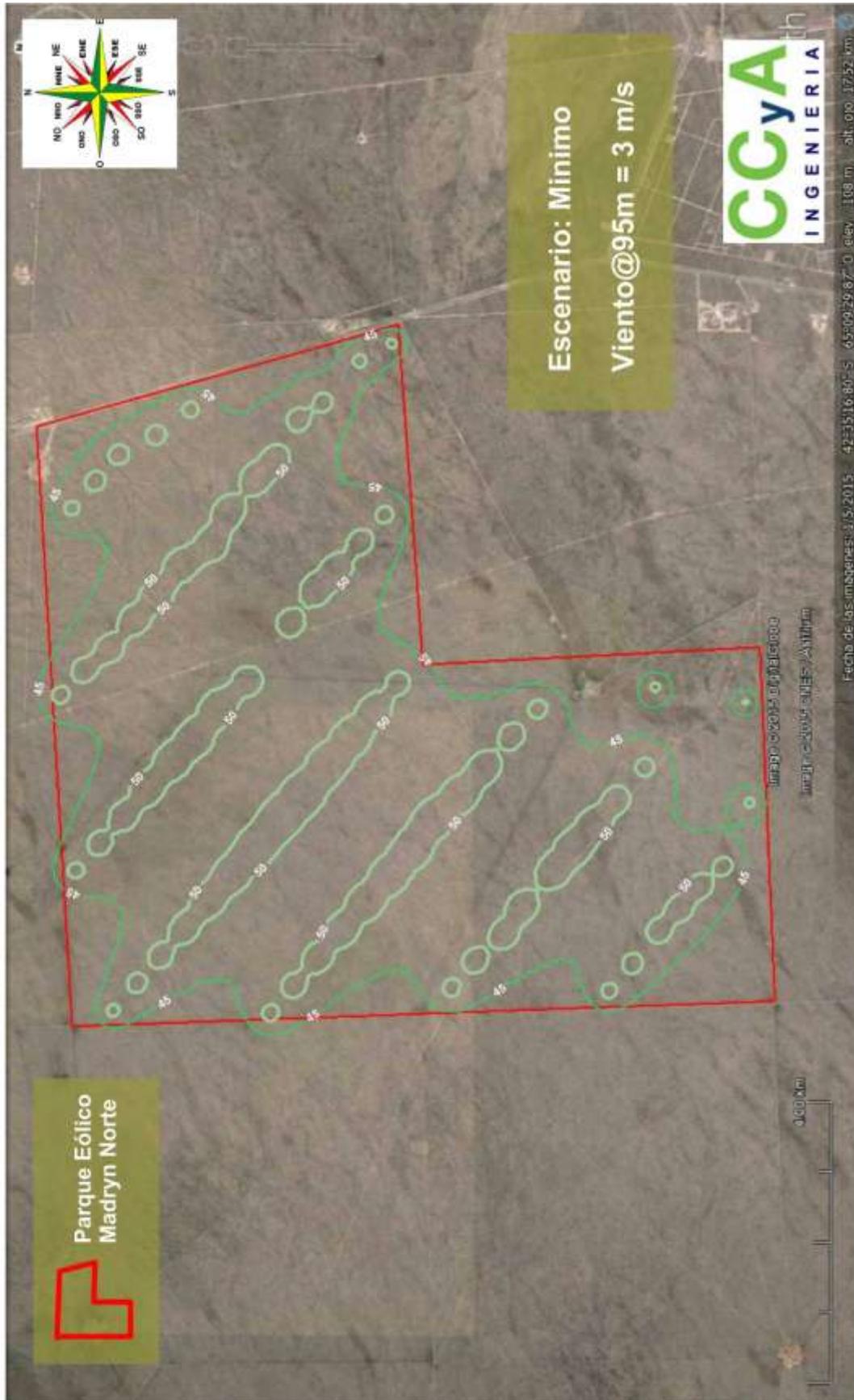
Comparando estos rangos con los valores máximos esperables fuera del PEM N, se concluye que básicamente el ruido generado por los equipos en los potenciales receptores críticos estará enmascarado por la acción del viento.

Esto es, los valores de base registrados en la zona indican que, bajo las situaciones más frecuentes de vientos moderados en la zona, el ruido de fondo producido por el viento enmascarará el ruido generado por el parque.

Como ejemplo se puede evaluar lo recién indicado para el ingreso al PEM N, un punto crítico asociable al exterior. La tabla que sigue sintetiza esto, mostrando que normalmente el ruido de los AGs estará enmascarado por el ruido de fondo:

*Impacto relativo en el ingreso al predio del PEM N, para los 3 escenarios ensayados.*

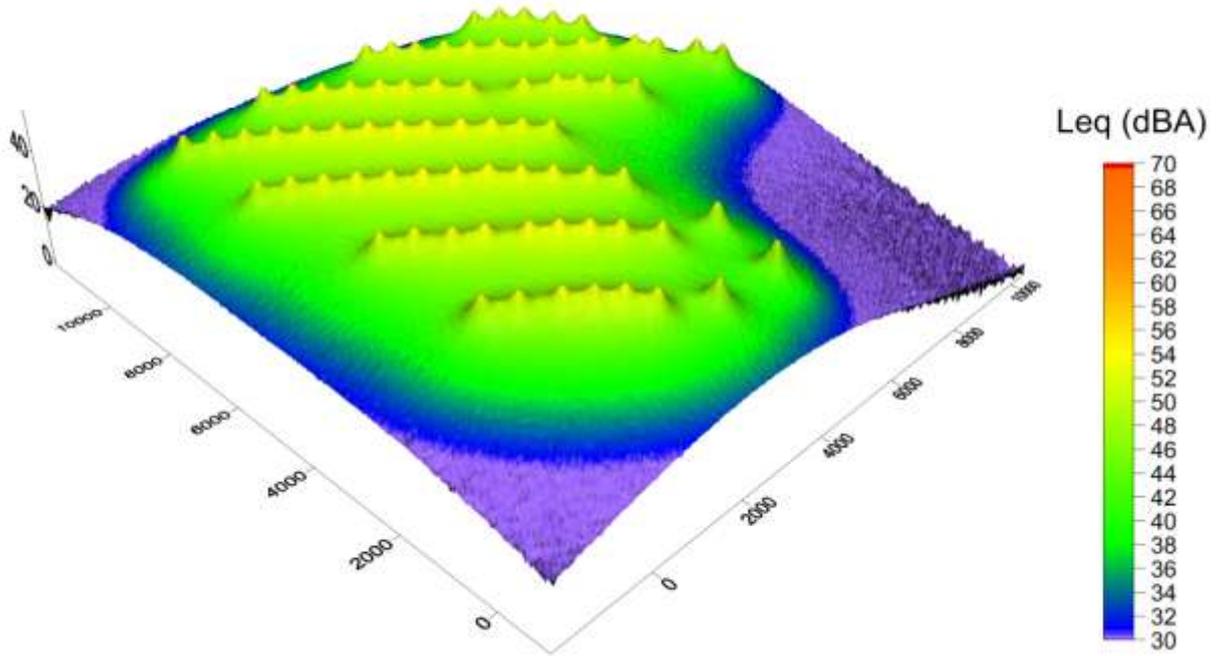
Escenario	Viento	Ruido de fondo (dBA)	Impacto del PEM N (dBA)
Mínimo	leves	45 – 55	43.9
Medio	moderados (ráfagas)	55 – 65	48.8
Máximo	fuertes	> 65	55.2



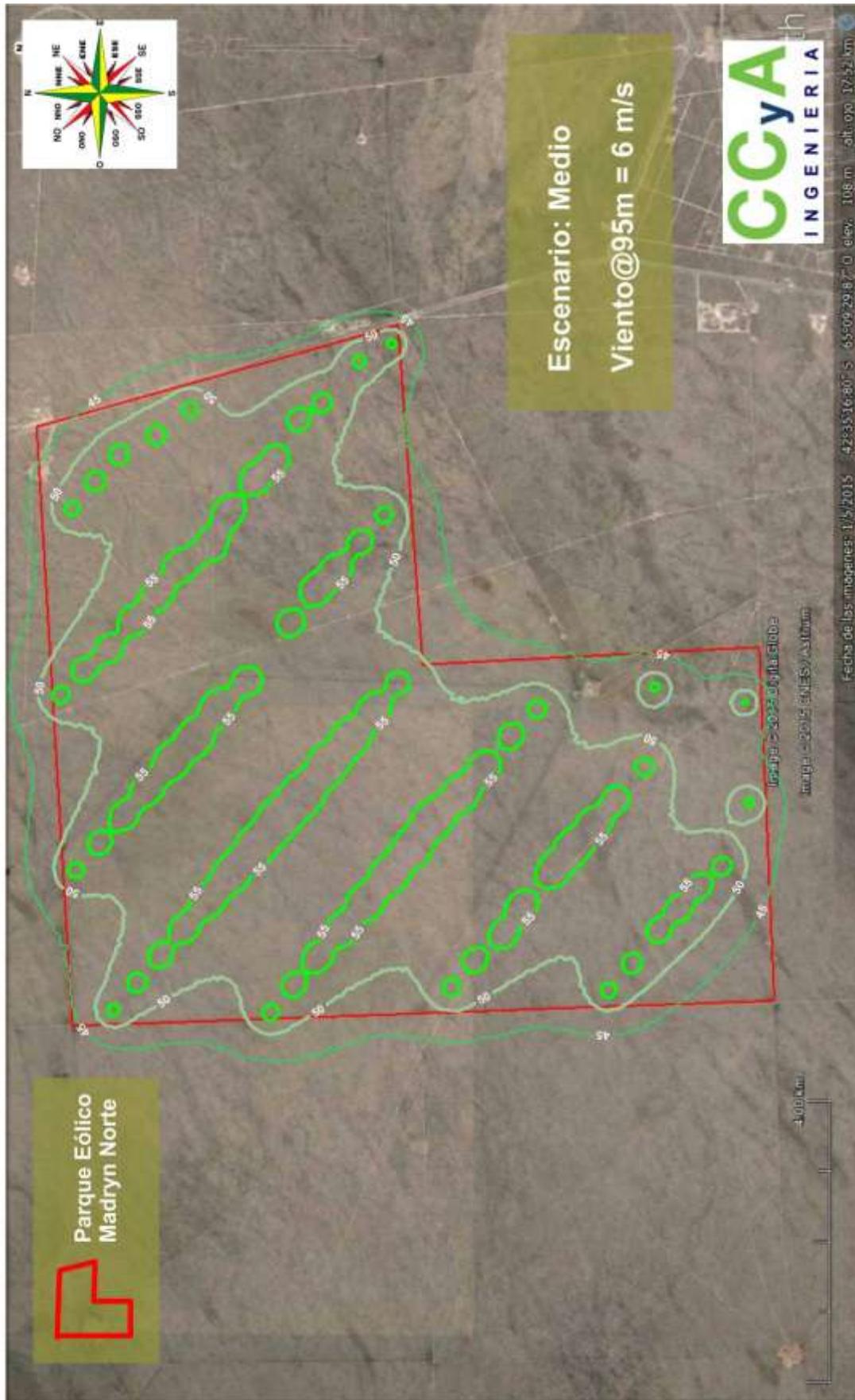
Mapa de ruido para escenario de mínima (Viento@95m= 3 m/s).

Parque Eólico Madryn Norte  
Escenario: Mínimo  
Viento@95m = 3 m/s

CCyA  
INGENIERIA



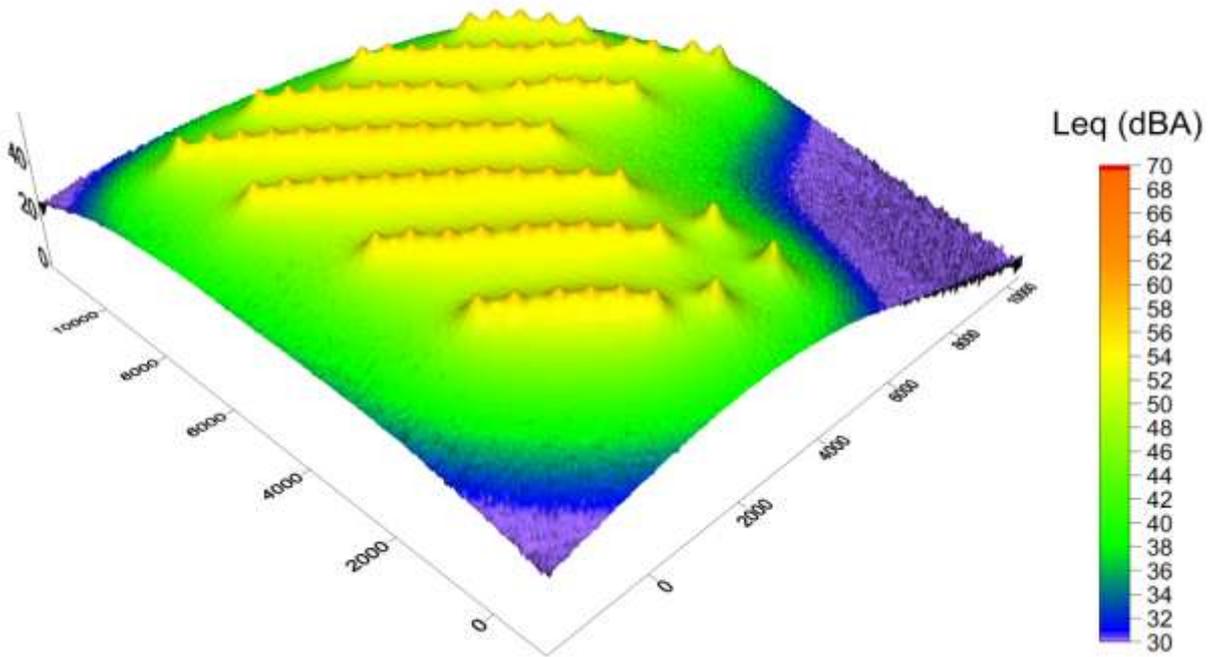
*Campo 3D de ruido para escenario de mínima (Viento@95m= 3 m/s).*



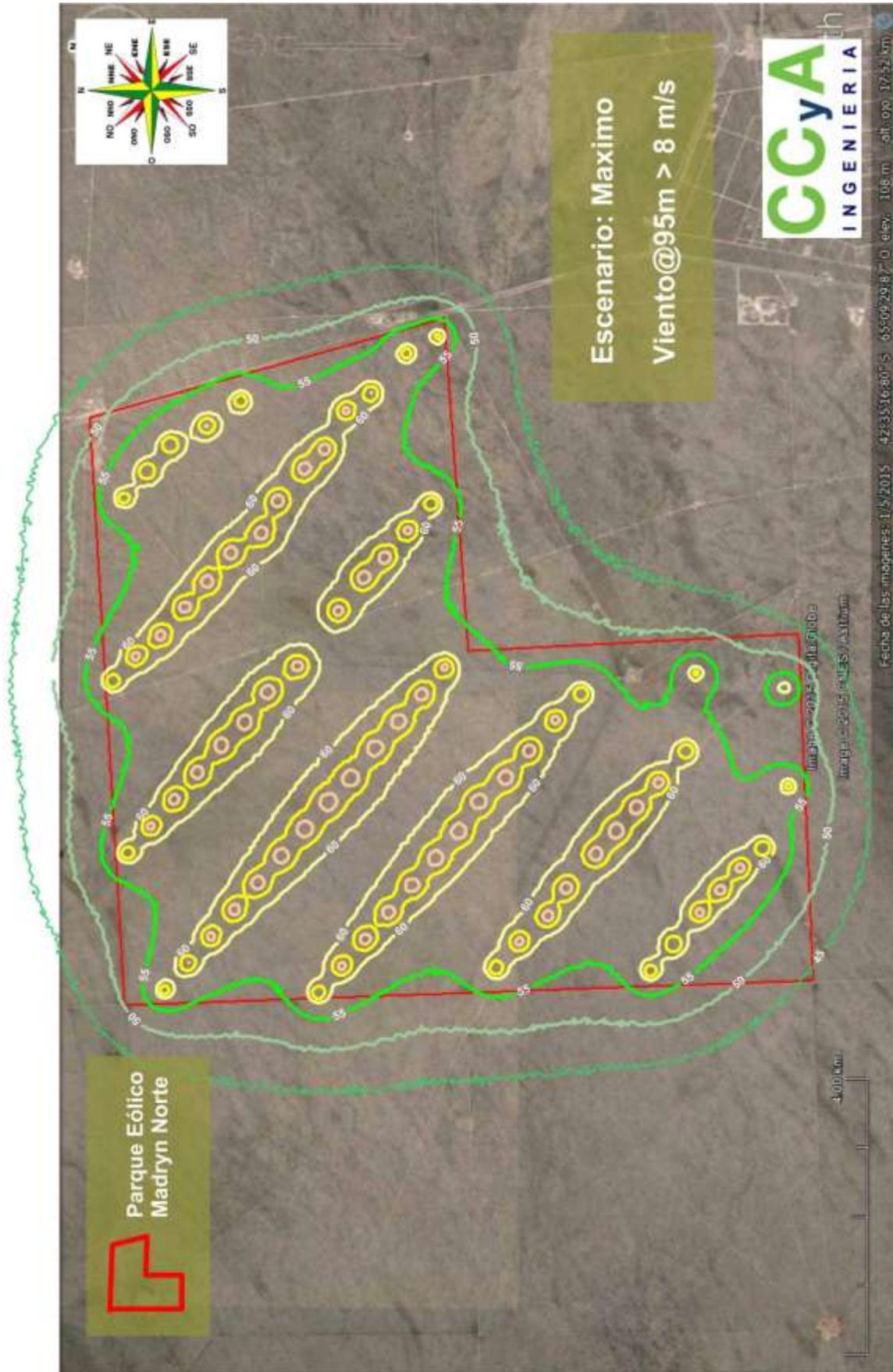
Mapa de ruido para escenario de media (Viento@95m= 6 m/s).

Parque Eólico Madryn Norte  
Escenario: Medio  
Viento@95m = 6 m/s

CCyA  
INGENIERIA

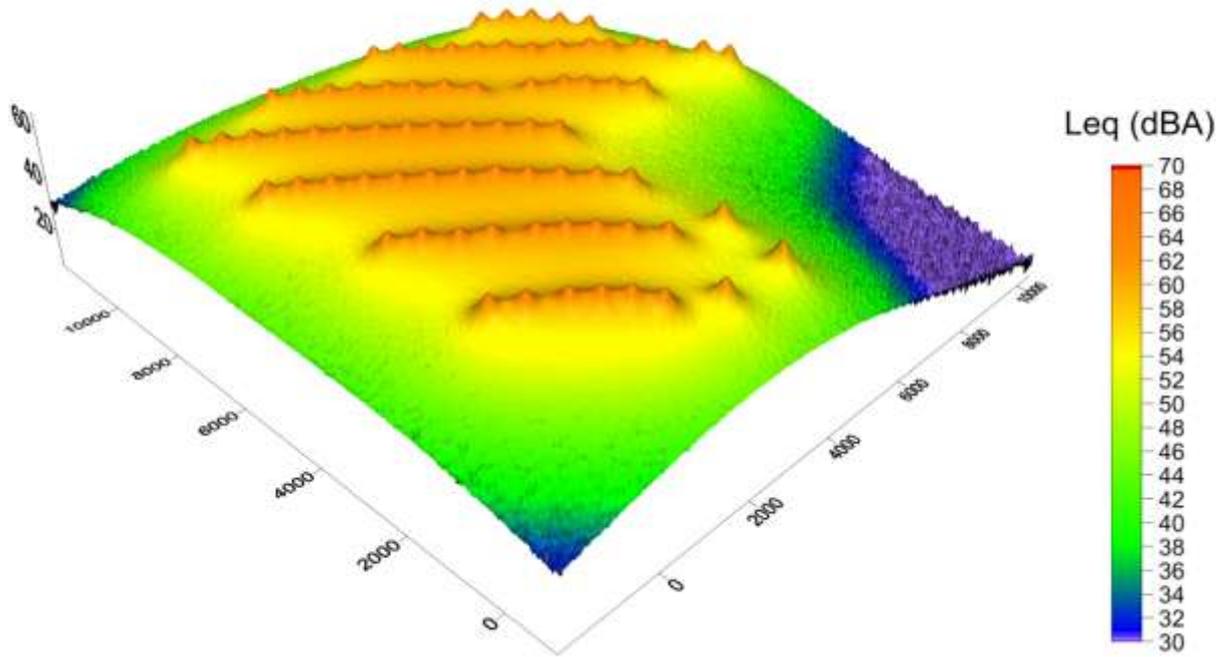


Campo 3D de ruido para escenario de media (Viento@95m= 6 m/s).



Mapa de ruido para escenario de máxima (Viento@95m > 10 m/s).

Parque Eólico Madryn Norte  
Escenario: Maximo  
Viento@95m > 8 m/s



Campo 3D de ruido para escenario de máxima (Viento@95m >8 m/s).

## 4 CONCLUSIONES

El análisis mediante modelado matemático muestra que el mayor incremento del nivel de ruido se producirá en el interior del predio del PEM N, siendo inferior a los ruidos típicos en sitios industriales ya que los valores máximos están bien por debajo de los límites establecidos por la normativa de Higiene y Seguridad Laboral.

A su vez, en el exterior los ruidos generados por el PEM N serán relativamente bajos, y para la situación típica de presencia de viento en la zona, el ruido ambiente enmascarará al ruido generado por los aerogeneradores, aún en el caso en que todos ellos trabajen simultáneamente.

No se esperan ruidos molestos sobre los potenciales receptores críticos evaluados en las inmediaciones.