

Optimización de layout de aerogeneradores: Ruido

Expositor: Victoria Andaur

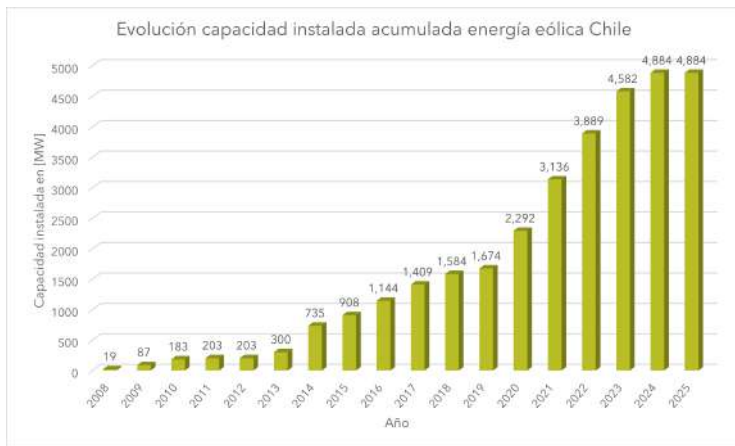
Anabática Renovables y Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

7 de mayo de 2025

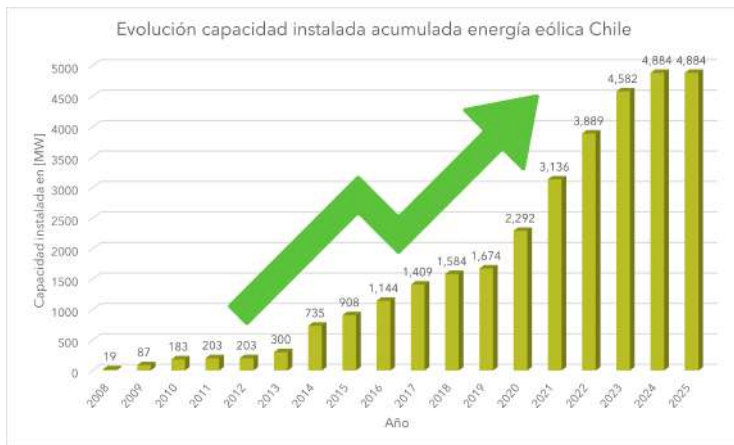


Ingeniería Matemática
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Energía eólica



Energía eólica



Ruido en Chile

Normativa en Chile:

Decreto Supremo 38:



Límite día	Límite noche
Ruido de fondo + 10dB(A) con un máximo de 65 dB(A)	Ruido de fondo + 10dB(A) con un máximo de 50 dB(A)

Caso de estudio

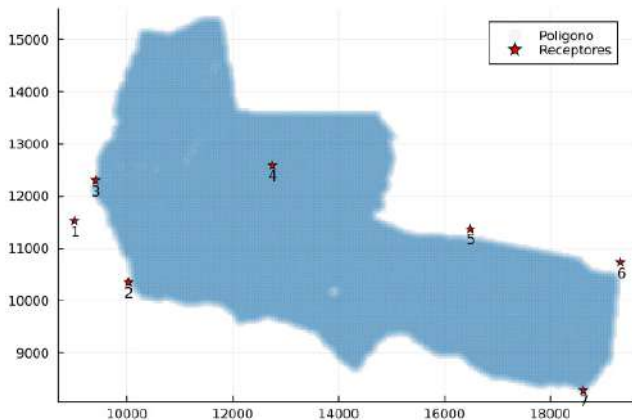


Figura: Polígono y receptores caso de estudio

6 / 44

Formas de disminuir el ruido en un parque eólico

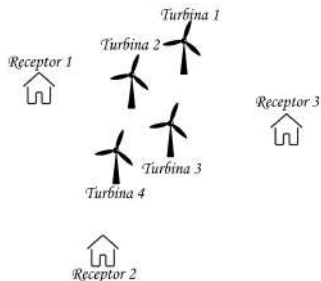
- Usar aerogeneradores con pala con *serration*
- Elegir diferentes aerogeneradores (cada aerogenerador tiene una curva de ruido propia)
- Disminuir el número total de aerogeneradores
- Se pueden apagar los aerogeneradores en ciertas horas (hay diferentes límites para día y noche)
- Mover los aerogeneradores. (Hay posiciones que generan más ruido que otras.)
- Usar diferentes modos de ruido

Formas de disminuir el ruido en un parque eólico

- Usar aerogeneradores con pala con *serration*
- Elegir diferentes aerogeneradores (cada aerogenerador tiene una curva de ruido propia)
- Disminuir el número total de aerogeneradores
- Se pueden apagar los aerogeneradores en ciertas horas (hay diferentes límites para día y noche)
- Mover los aerogeneradores. (Hay posiciones que generan más ruido que otras.)
- **Usar diferentes modos de ruido**

Experimento 0

Experimento 0, el modelo en palabras: cómo funciona



Maximizar la energía total del parque

Sujeto a:

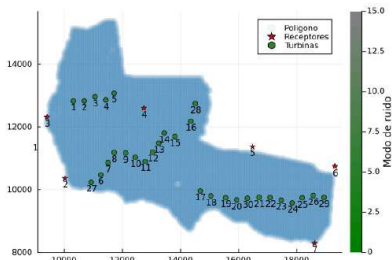
En cada receptor...

... el ruido total es menor a 40 dB(A).

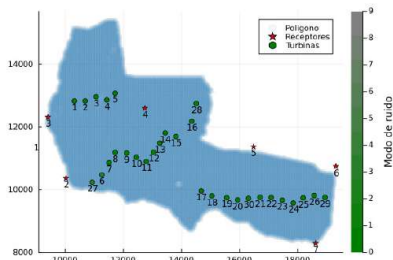
Cada aerogenerador...

... tiene a lo más un modo.

Resultados experimento 0



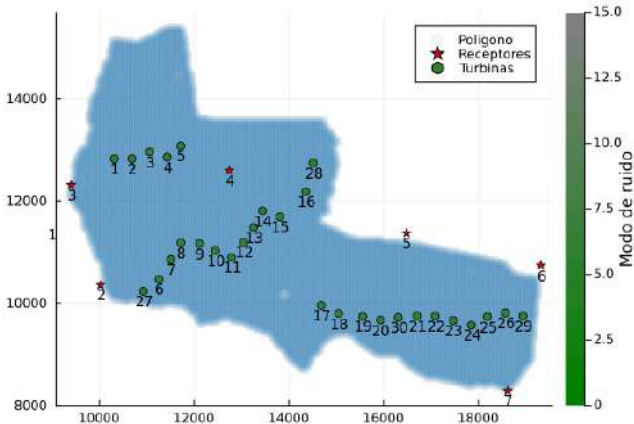
(a) Aerogeneradores de Tipo T1
6800 [kW]



(b) Aerogeneradores de Tipo T2
7200 [kW]

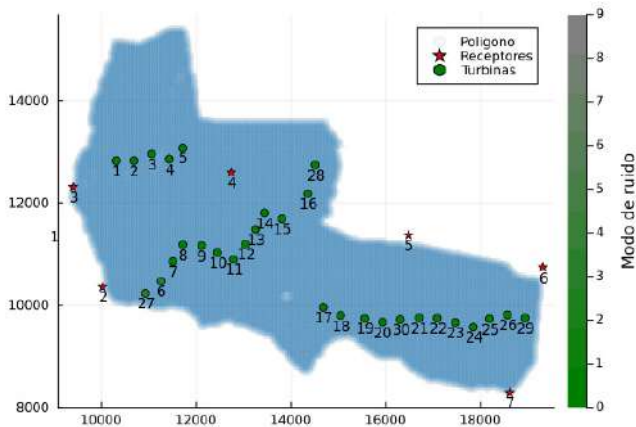
Figura: Resultado aerogeneradores experimento 0

Resultados experimento 0



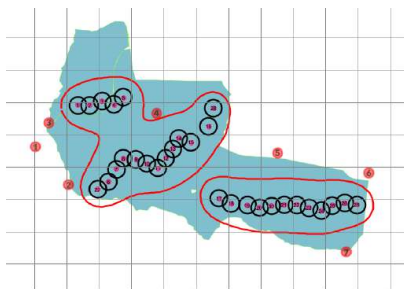
(a) Aerogeneradores de Tipo T1
6800 [kW]

Resultados experimento 0

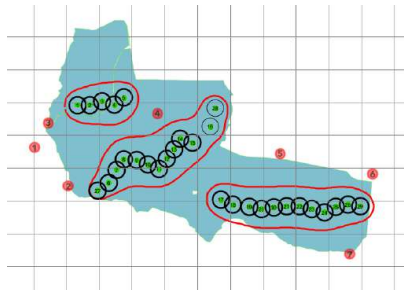


(b) Aerogeneradores de Tipo T2
7200 [kW]

Resultados experimento 0 en OW



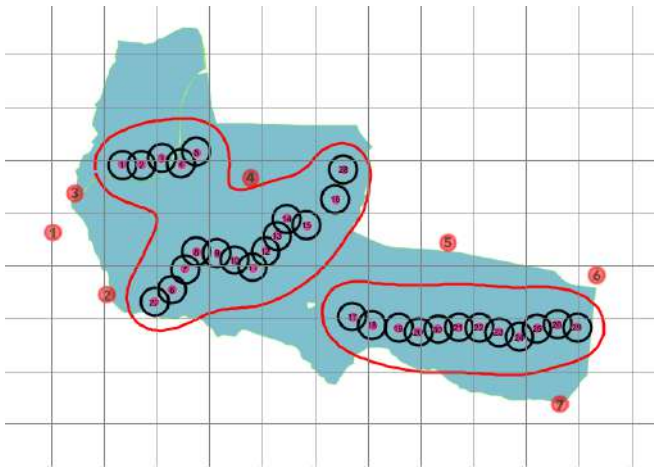
(a) Aerogeneradores de Tipo T1 Ruido
OW
Islóneas 40 [dB(A)]



(b) Aerogeneradores de Tipo T2 Ruido
OW
Islóneas 40 [dB(A)]

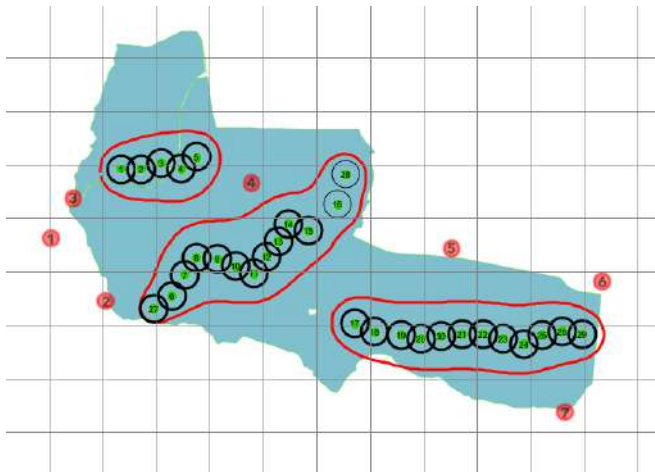
Figura: Resultado aerogeneradores experimento 0 OW

Resultados experimento 0



(a) Aerogeneradores de Tipo T1 Ruido OW
Isolíneas 40 [dB(A)]

Resultados experimento 0



(b) Aerogeneradores de Tipo T2 Ruido OW
Islíneas 40 [dB(A)]

Resultados experimento 0

Nº Receptor	Ruido T1 calculado [dB(A)]	Ruido T1 OW [dB(A)]	Ratio Exp 0 /OW T1
1	27.59	30.69	-10 %
2	29.38	35.16	-16 %
3	29.63	33.95	-13 %
4	37.13	38.00	-2 %
5	32.56	34.19	-5 %
6	23.95	34.30	-30 %
7	25.41	33.50	-24 %
Energía	480.9 [GWh]	598.7 [GWh]	-19.68 %

Nº Receptor	Ruido T2 calculado [dB(A)]	Ruido T2 OW [dB(A)]	Ratio Exp0 /OW T2
1	31.11	27.81	12 %
2	33.68	31.42	7 %
3	33.26	31.54	5 %
4	35.87	35.82	0 %
5	22.05	31.94	-31 %
6	15.89	32.06	-50 %
7	15.86	31.24	-49 %
Energía	460.1 [GWh]	635.2 [GWh]	-27.56 %

Cuadro: Comparativa de ruido en cada receptor, aerogeneradores T1 y T2, Exp 0 y en OpenWind

Experimento 1

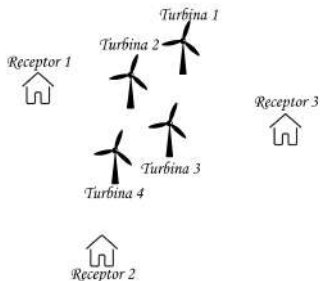
Formas de disminuir el ruido en un parque eólico

- Usar aerogeneradores con pala con *serration*
- Elegir diferentes aerogeneradores (cada aerogenerador tiene una curva de ruido propia)
- Disminuir el número total de aerogeneradores
- Se pueden apagar los aerogeneradores en ciertas horas (hay diferentes límites para día y noche)
- Mover los aerogeneradores. (Hay posiciones que generan más ruido que otras.)
- **Usar diferentes modos de ruido**

Formas de disminuir el ruido en un parque eólico

- Usar aerogeneradores con pala con *serration*
- Elegir diferentes aerogeneradores (cada aerogenerador tiene una curva de ruido propia)
- Disminuir el número total de aerogeneradores
- Se pueden apagar los aerogeneradores en ciertas horas (hay diferentes límites para día y noche)
- **Mover los aerogeneradores. (Hay posiciones que generan más ruido que otras.)**
- **Usar diferentes modos de ruido**

Experimento 0, el modelo en palabras: cómo funciona



Maximizar la energía total del parque

Sujeto a:

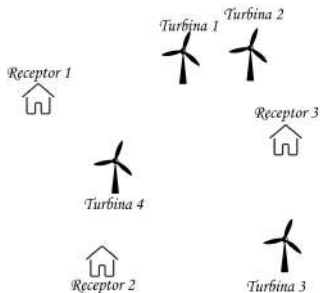
En cada receptor...

... el ruido total es menor a 40 dB.

Cada aerogenerador...

... tiene a lo más un modo.

Experimento 1, el modelo en palabras: cómo funciona



Maximizar la energía total del parque, con aerogeneradores que se pueden cambiar de posición* (en una grilla)

Sujeto a:

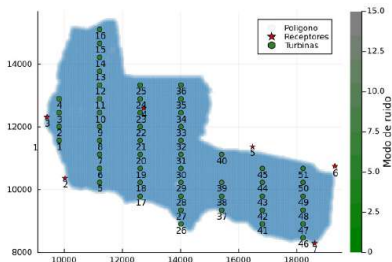
En cada receptor...

... el ruido total es menor a 40 dB.

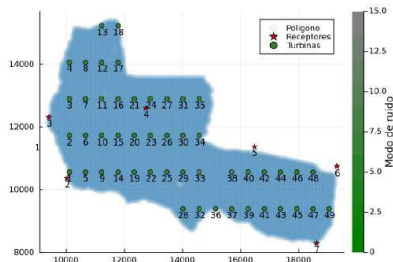
Cada aerogenerador...

... tiene a lo más un modo.

Experimento 1, grillas 20×50 , 50×20 (Parte 1)



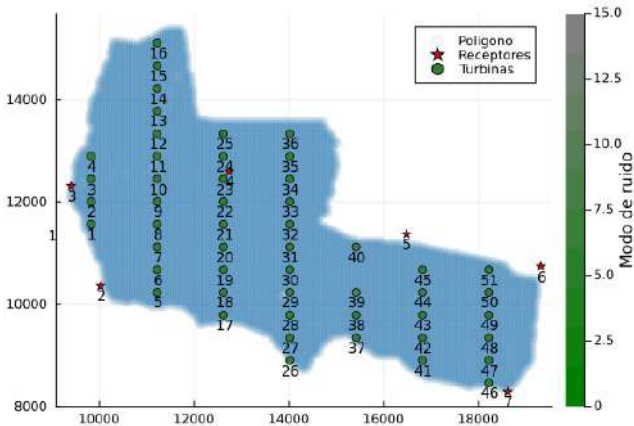
(a) Aerogeneradores de Tipo T1
Grilla 20×50



(b) Aerogeneradores de Tipo T1
Grilla 50×20

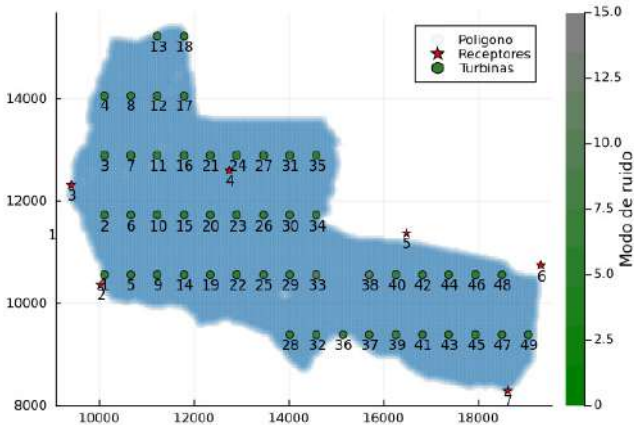
Figura: Resultado aerogeneradores experimento 1

Experimento 1, grillas 20×50



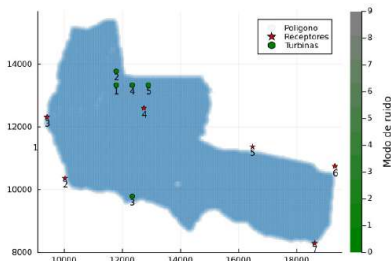
(a) Aerogeneradores de Tipo T1
Grilla 20×50

Experimento 1, grillas 50×20

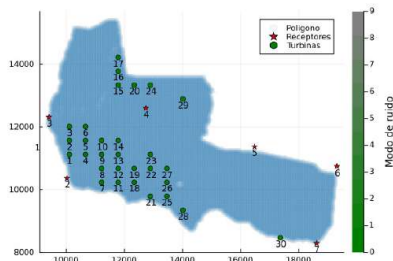


(b) Aerogeneradores de Tipo T1
Grilla 50×20

Experimento 1, grilla de 50×50 (Parte 2)



(c) $N = 5$



(d) $N = 30$

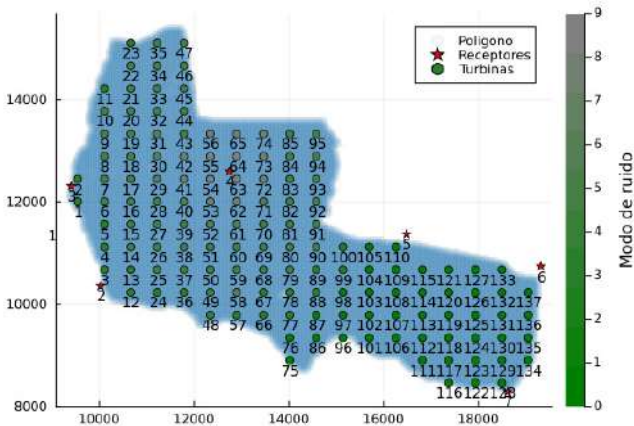
Figura: Distribución de aerogeneradores en una grilla de 50×50 para $N = 5$ y $N = 10$. Aerogeneradores T2

Limitaciones del Experimento 1

Problemas Detectados

- El experimento requería **posiciones fijas**.
- No se respetó la **restricción de distancia** de **3D7D** entre aerogeneradores.

Experimento 1, grilla de 50×50 (Parte 2)



(c) $N = 150$

Solución Implementada en el Experimento 2

Problemas Detectados

- El experimento requería **posiciones fijas**.
- No se respetó la **restricción de distancia** de **3D7D** entre aerogeneradores.

Mejoras en el Modelo

- Se agregaron **restricciones de distancia** al modelo matemático.
- Se iteró el modelo **1000 veces** en **2 grillas** utilizando el **aerogenerador T2**.

Movimiento de aerogeneradores

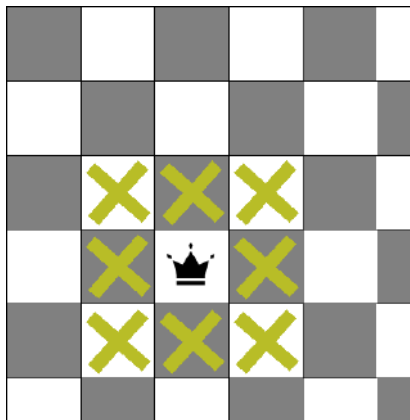


Figura: Se mueven los aerogeneradores como un rey en ajedrez

Movimiento de aerogeneradores

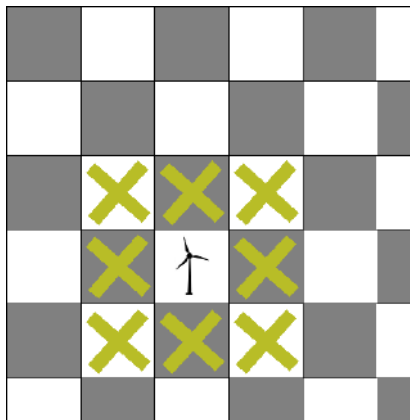


Figura: Se mueven los aerogeneradores como un rey en ajedrez

Experimento 2, 1000 iteraciones grilla 50×20

Ver video:

[Click aquí para ver el video](#)



Experimento 3

Limitaciones del Experimento 2

Problemas Detectados

- El experimento 2 pone aerogeneradores demasiado cerca de los receptores
- Los ruidos finales del modelo eran mucho más bajos que en *OpenWind*.

Solución Implementada en el Experimento 3

Problemas Detectados

- El experimento 2 pone aerogeneradores demasiado cerca de los receptores.
- Los ruidos finales del modelo eran mucho más bajos que en *OpenWind*.

Mejoras en el Modelo

- Se utilizó un área construible con margen en los receptores de 500m,

Experimento 3

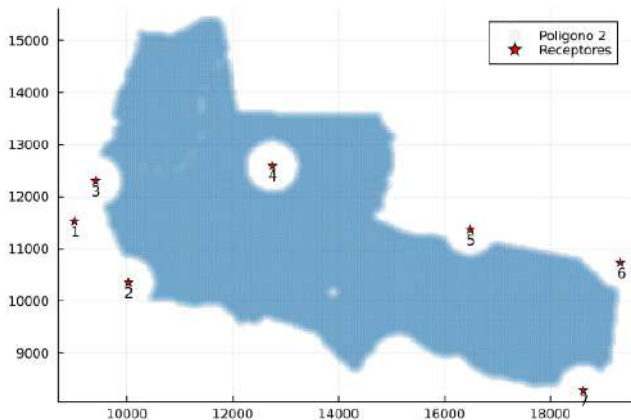
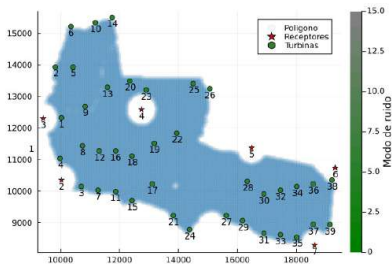
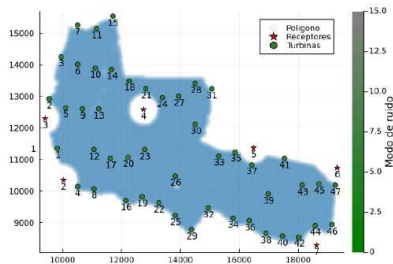


Figura: Nuevo polígono experimento 3

Resultados experimento 3



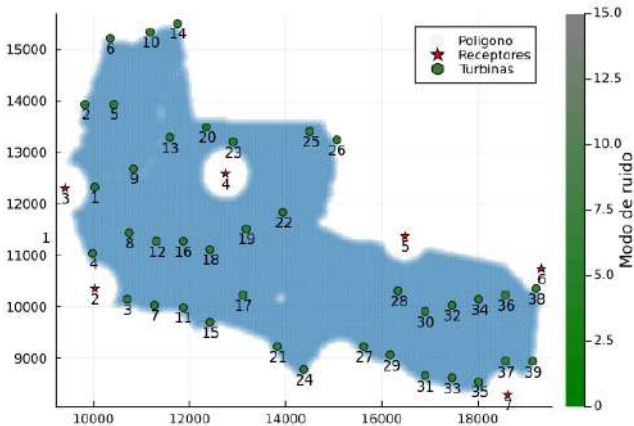
(a) Aerogeneradores T1 50×20



(b) Aerogeneradores T1 50×50

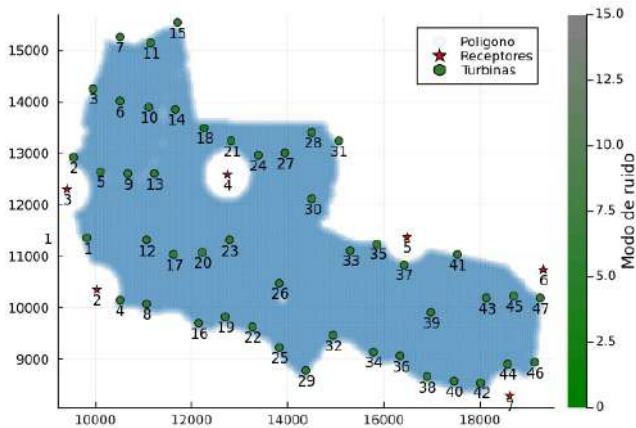
Figura: Resultados iteración 1000 experimento 3

Resultados experimento 3



(a) Aerogeneradores T1 50×20

Resultados experimento 3



(b) Aerogeneradores T1 50×50

Resultados experimento 3

	Grilla 50x20		Grilla 50x50	
	Ruido T1 [dB(A)]	Ruido OW T1 [dB(A)]	Ruido T1 [dB(A)]	Ruido OW T1 [dB(A)]
1	31.63	33.90	31.6	35.26
2	33.27	38.50	33.76	39.02
3	34.35	37.27	34	38.77
4	35.83	39.18	39.63	40.06
5	37.04	34.36	39.24	40.12
6	30.75	40.29	31.78	38.63
7	36.32	39.35	38.48	39.59
Energía producida [GWh]	638.2	751.1	770.5	908.62

Conclusiones

Conclusiones

- Se logró desarrollar un modelo de optimización para el posicionamiento de aerogeneradores con restricciones de ruido, generando configuraciones eficientes.
- Las funciones de cálculo de ruido y energía subestiman los valores, sugiriendo la necesidad de modelos más detallados y realistas.
- El optimizador presenta limitaciones en desempeño, como tiempos de iteración elevados y convergencia prematura, lo que requiere mejoras en la eficiencia del algoritmo.
- Este trabajo avanza en la optimización del posicionamiento de aerogeneradores, sentando bases para escenarios más complejos.

¡Muchas gracias por su atención!

Anexos

Curvas de ruido

