

## “ Optimización en la generación de energía de un parque eólico bajo determinadas condiciones ambientales ”

45403 Benedetti Juan<sup>1</sup> , 44987 Cabanellas Ignacio<sup>2</sup> ,  
44757 Cutró Gastón<sup>3</sup> , 44758 Fernández Natalia<sup>4</sup> , 44839 Gofiar Cristian<sup>5</sup>

CICLO LECTIVO: AÑO 2020

---

### Resumen

En este trabajo tenemos como objetivo enfocarnos en encontrar una forma de optimizar la ubicación de aerogeneradores en parques eólicos aplicando Algoritmos Genéticos. Para realizarlo tomaremos en cuenta diferentes factores del ambiente, tales como, la rugosidad del terreno, la velocidad del viento, su perturbación, las distancias entre aerogeneradores, etc. Además, lo abordaremos con un enfoque que sea de utilidad para decisiones tanto políticas como económicas, es decir, se podrá decidir cuales podrían ser los mejores lugares (mejores condiciones ambientales) para poder soportar una cierta cantidad predefinida de aerogeneradores.

---

## 1. Introducción

Los parques eólicos aumentan en popularidad rápidamente a través del tiempo, siendo no solo una de las formas mas baratas de generar energía sino también siendo fácil de mantener, flexible y completamente limpia, por eso en este trabajo, **explicaremos el desarrollo y creación de un algoritmo diseñado para optimizar la distribución de aerogeneradores en un espacio definido**. Además, a lo largo de este trabajo practico desarrollaremos los temas relacionados con cuales fueron los programas utilizados, la organización del grupo, haremos un análisis de los resultados y una conclusión, y finalmente daremos referencias e información útil utilizada para el desarrollo del mismo.

- Matplotlib
- Math
- Pandas
- Xlsxwriter
- System
- Os
- PyInquirer

El entorno de desarrollo utilizado fue Visual Studio Code gracias a su versatilidad y adaptación debido a la gran cantidad de extenciones que se pueden agregar. Esto nos permitió realizar un seguimiento de errores de sintaxis mas profundo.

La metodología elegida fue el desarrollo procedural ya que es mas comprensible para la corrección y la lectura del código. Además no se requería la generación de múltiples clases como para utilizar el modelo orientado a objetos.

## 2. Elementos del Trabajo y metodología

Comenzaremos mencionando las herramientas utilizadas que sustentan el estudio realizado, pasando por un entendimiento conceptual del trabajo realizado.

### 2.1. Trabajo en Python.

Para desarrollar el software utilizamos el lenguaje de programación Python en su versión 3.8 con un conjunto de librerías:

- Numpy
- Random

### 2.2. Trabajo en Blender.

Para la realización del renderizado fue utilizado el software de modelado Blender. Este programa nos permitió representar gráficamente las soluciones obtenidas debido a que posee una **integración con Python** la cual es facil y sencilla de utilizar.

Esta integración nos permite no tener que ser expertos en el uso de Blender, sino que, con nuestros conocimientos previos de Python se puede manejar con comodidad.

En este software se pueden generar interesantes ilustraciones 3D y animaciones para las mismas. Mediante el mismo, y mediante el ingreso de una "entrada", en este caso el parque eólico óptimo, pudimos representar gráficamente la solución generada a través del algoritmo genético. Para esto, generamos un ambiente 3D cuyo suelo está representado por pasto (compuesto por una gran cantidad de hojas sueltas) y cuyo cielo está representado por paredes lisas con nubes.

Se generó también los aerogeneradores quienes se encuentran ubicados en una posición (x,y) dependiente del arreglo de posiciones de la solución óptima.

### 2.3. API Windfinder.

El programa codificado en Python permite, además de los parámetros constantes fijos, jugar con parámetros iniciales en tiempo real. Es decir, se puede consultar con una API, por ejemplo, la velocidad del viento actual de cualquier región del país. Este valor consultado se puede integrar en python mediante un request a la pagina y posteriormente se puede utilizar para sacar conclusiones de diferentes lugares y diferentes ambientes para ubicar un parque eólico.

Hora local	24	03	06	09	12	15
Dirección del viento	↖	↖	↗	↗	↗	↖
Velocidad del viento (kts)	9	12	9	9	7	11
Ráfagas (max kts)	17	16	14	13	10	11

Figura 1: API Windfinder.

### 2.4. Funcionamiento del código.

Luego de dejar en claro las herramientas y metodologías utilizadas vamos a describir el formato del código.

Generamos una población inicial de cromosomas (parques) con generadores en posiciones aleatorias. Luego se calcula la función objetivo de cada parque (la cual es igual a la energía eléctrica total generada por el parque). A partir de esta función objetivo definimos definimos cual parque es mejor y cual peor para así guardas en una lista los mejores y peores parques para luego graficarlos (también se guarda el promedio de la función objetivo todos los parques).

Después se seleccionan aleatoriamente desde una ruleta de frecuencias 2 cromosomas para realizar el crossover y obtener 2 parques hijos para la próxima generación. (tenemos que tener en cuenta que implementamos elitismo, entonces, los 2 parques con mayor valor en la función objetivo pasan directamente a la siguiente generación sin realizar crossover ni mutar). La manera de realizar el crossover es mediante la combinación de las 5 mejores filas de cada padre y luego, para el segundo hijo, la combinación de las 5 mejores columnas. Si

se excede el numero máximo de generadores se realiza una eliminación de los generadores que menos energía generan hasta alcanzar el numero máximo nuevamente.

Luego se verifica aleatoriamente por cada parque si estos van a tener mutación o no. Caso afirmativo, muta, caso negativo, queda igual.

Así se consigue la siguiente generación de cromosomas. El proceso se repite hasta alcanzar un numero preestablecido de generaciones.

### 2.5. Elección del terreno.

Para llevar a cabo nuestro trabajo tuvimos que elegir un terreno donde situarnos. Nuestra elección, en base a las diferentes características que puede tener un suelo, resulta ser un lugar terrestre: Rufino ubicado en la provincia de Santa Fé, Argentina. La idea sería ubicar de manera optima aerogeneradores en dicha región de manera que, estos aerogeneradores queden interconectados al SIN (Sistema Interconectado Nacional) y en consecuencia, ampliarán el abastecimiento eléctrico a la región sudoeste de la provincia. La diversificación energética está en la base de este proyecto que asegura también, menor dependencia de recursos fósiles.

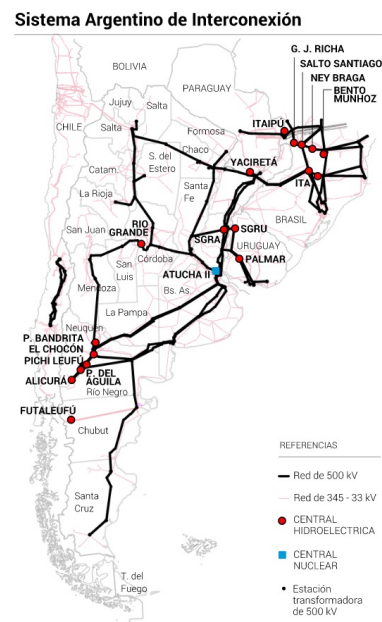


Figura 2: SIN (Sistema Interconectado Nacional)

### 2.6. Inicialización del modelo.

Como ya sabemos, queremos lograr, mediante un algoritmo genético, conseguir una distribución de aerogeneradores en un terreno de dimensiones determinadas, en este caso usamos 25 aerogeneradores como máximo, distribuidos en una grilla de 10x10, donde cada cuadrado ocupa 94 metros. De manera gráfica podemos decir que nuestra grilla o matriz inicial tendrá la siguiente forma:

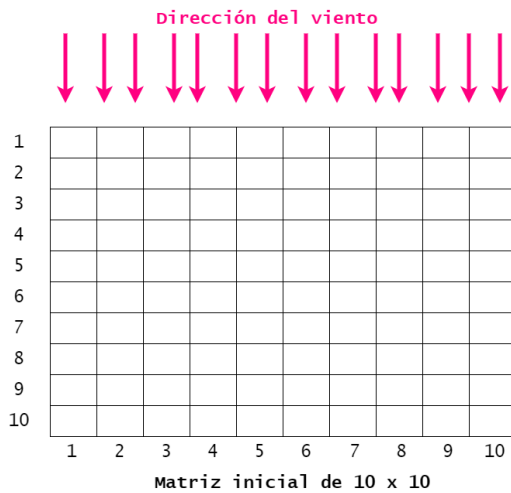


Figura 3: Matriz inicial.

## 2.7. Parametrización del modelo.

Los aerogeneradores utilizados son los recomendados por la cátedra, los Gamesa G47 Cuyas características, entre muchas otras son:

- Máxima potencia generada: 660.0 kWh
- Velocidad del viento mínima :4.0 m/s
- Velocidad del viento máxima: 25.0 m/s. Superada esta velocidad las paletas se posicionan de tal forma de no ofrecer resistencia al viento para evitar dañar al sistema.
- Velocidad del viento de supervivencia: 59.5 m/s. Inclusive con ese sistema pueden generarse problemas estructurales al aerogenerador.
- Peso de una hoja: 1.3 t
- Peso del rotor: 7.2 t
- Peso de la góndola: 20.4 t
- Peso de la torre, máx.: 66.4 t
- Peso del conjunto: 94.0 t

## 2.8. Obtención de los resultados.

El programa cuenta con múltiples tipos de salida, las cuales incluyen:

- Un Excel que nos ayuda a visualizar el aumento de fitness del mejor cromosoma de cada generación, enumerando cada una, y dándonos a método de comparación el mínimo y el promedio de las mismas.
- Un excel 10x10, donde cada casilla representa la cantidad de energía generada por un aerogenerador (0 donde no haya ningún generador). Usualmente suelen verse resultados que tratan de llenar las 10 primeras casillas, las 10 ultimas, y el resto trata de ubicarse lo mas al medio posible, para evitar lo mayor posible el efecto estela.

- Y finalmente un renderizado tridimensional que representa el parque de una manera visual, para que sea mas fácil la visualización del mismo y que sea una presentación mas profesional a la hora de mostrárselo al potencial cliente de un programa como este. Hay múltiples ángulos de cámara, y adicionalmente la opción de generar un vídeo con una animación que representa los generadores en funcionamiento

## 3. Resultados

Dividiremos el estudio en la evaluación de dos casos, estos difieren de la velocidad del viento. El primer modelo tendrá una velocidad mayor que la del segundo y esto nos permitirá evaluar diferentes escenarios para la implementación de un parque eólico.

Los parámetros a utilizar entonces serán:

- **Escenario 1:** Gamesa G47 con velocidad del viento de 13km/h.
- **Escenario 2:** Gamesa G47 con velocidad del viento de 20km/h.

El resultado obtenido para ambos escenarios se presentará a continuación. Primeramente mostraremos el resultado del parque eólico optimo mediante la representación de la matriz en excel y luego lo haremos a través del software Blender.

Para el primer caso, el resultado obtenido fue el siguiente:

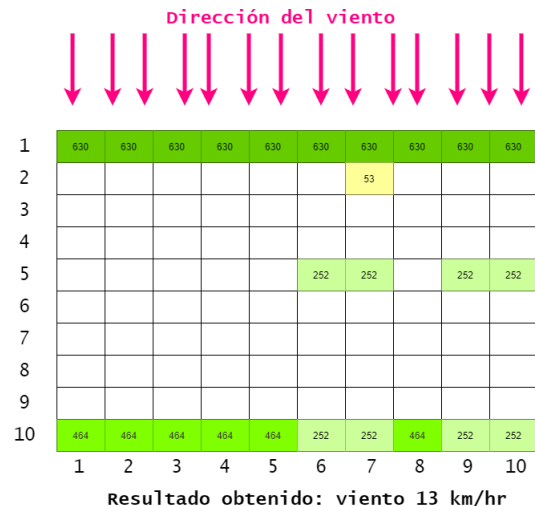


Figura 4: Escenario 1: Resolución.

La potencia generada da un total de 11.153. Puede verse como se cumple la hipotesis de que usualmente los resultados tratan de llenar las 10 primeras casillas, las 10 ultimas, y el resto trata de ubicarse lo mas al medio posible. De esta manera logra evitarse en gran medida el efecto estela.

Para el segundo escenario, el resultado obtenido fue el siguiente:

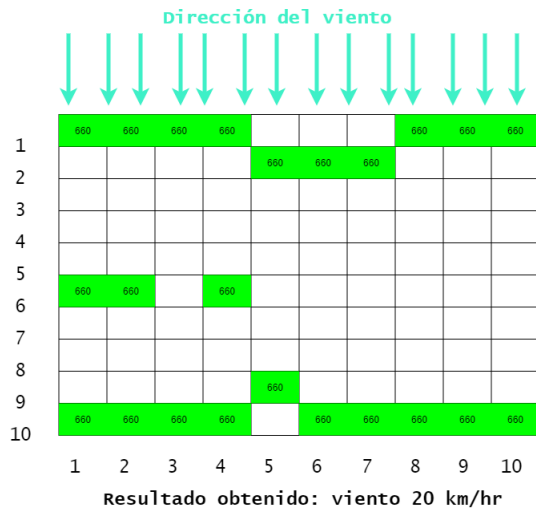


Figura 5: Escenario 2: Resolución.

La potencia total generada es de 16.500. Mas allá de los métodos de salida, podemos ver que los generadores buscan el posicionamiento mas alejado posible uno de otros, y la menor cantidad posible de los mismos en una columna. Además, gracias a las salidas que ayudan mucho a interpretar los resultados, descubrimos que es mejor no poner fuertes vientos a la hora de generar los parques, ya que no tiene que estar posicionado de manera óptima para generar la misma cantidad de energía, por eso es mejor probar con vientos menores, que permite una mejor evolución, o alternatively probar con diferentes tipos de valores y encontrar cuales son los mejores para que situaciones, en este caso ya que sabemos que usualmente el viento sera relativamente bajo, y que además una mala distribución genera una perdida mayor cuando los vientos son bajos, es mejor utilizar esos parámetros.

### 3.1. Resultados en Blender.

Para generar una manera más interactiva de poder apreciar los resultados obtenidos y de poder evaluar de manera visual la ubicación de los aerogeneradores se procedió a representarlos en Blender. Se transcribió el arreglo generado, dado por las matrices de ambos escenarios, y se colocaron en el software.

Presentamos entonces 3 imagenes donde se muestran diferentes ángulos de la cámara: Camara cercana, cámara frontal y cámara superior. Estas visualizaciones son muy utiles y puede apreciarse como puede ser servir para cualquier persona que quiera comprender como estaría compuesto su parque eólico además de poder jugar con diferentes interacciones y parámetros en el mismo.

Los resultados obtenidos para el escenario 1 se muestran a continuación:

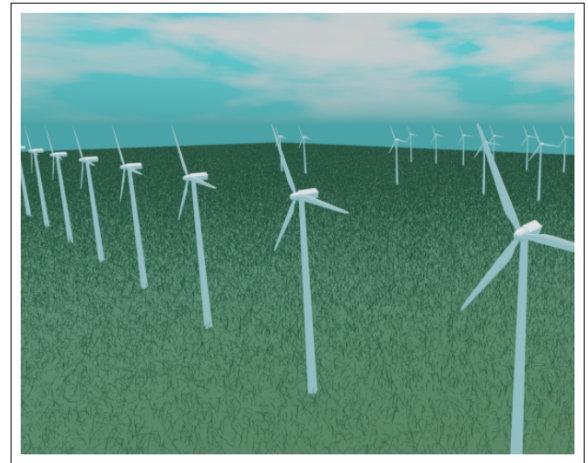


Figura 6: Cámara Cercana del render de blender.

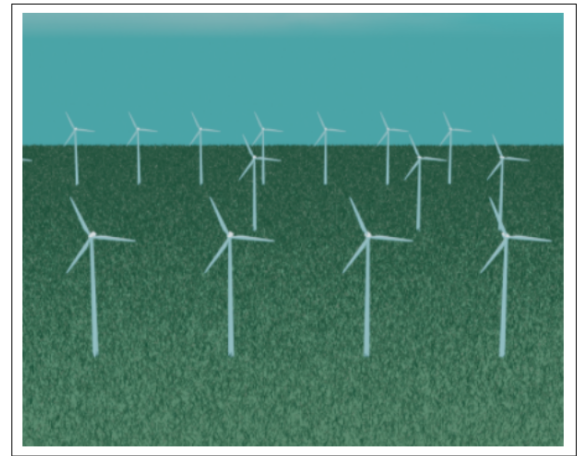


Figura 7: Cámara frontal del render de blender.

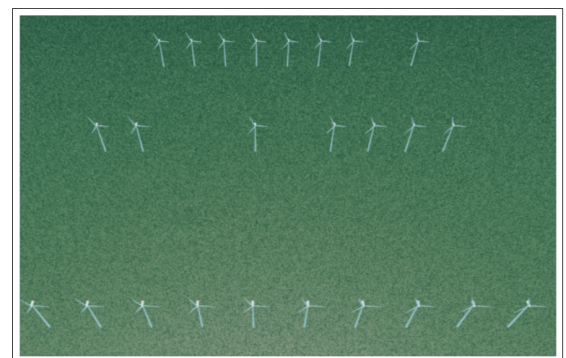


Figura 8: Cámara superior del render de blender.

## 4. Discusión

En los resultados observados del algoritmo creado para este proyecto concluimos que las primeras generaciones del parque generado son completamente aleatorias y a medida que van avanzando el resultado va tendiendo a un único parque óptimo.

Podemos notar, a partir de las representaciones obtenidas, que los aerogeneradores se disponen de forma tal de tratar de evitar lo mas posible el efecto estela, una cuestión lógica, puesto que de esta manera se estaría maximizando la generación de energía, que es el objetivo del algoritmo.

Durante el desarrollo del algoritmo, se planteó la posibilidad de utilizar distintos tipos de aerogeneradores para modelar el problema, es decir, incluir distintas tablas de viento-potencia correspondientes a otros equipos además de la del GAMESA-G47 sugerido, permitiendo al usuario seleccionar el aerogenerador deseado para la configuración del parque, posibilitando una mayor diversidad en la selección de variables. Luego de debatir la idea, se concluyó en que lo más probable sería que el resultado de las distintas ejecuciones fueran muy similares a si se modelaba el parque únicamente con el aerogenerador sugerido, esto porque para lograr una composición distinta se debería evitar completamente el efecto estela, cosa que es imposible.

## 5. Conclusión

En este trabajo se ha desarrollado un programa, basado en el uso de algoritmos genéticos, que permite abordar la optimización global del parque eólico, considerando como variables la posición de cada uno de los generadores en base a la energía que producen.

Esto hace que la solución obtenida de esta forma sea más eficiente que la obtenida por otros métodos, debido al coste reducido que conlleva la solución me-

dianate heurística, en términos de costo de cálculo de eficiencia computacional y tiempo. Esto conduce a una solución eficiente pero no necesariamente es la óptima.

En resumen, este trabajo obtiene la mejor disposición de un único tipo de turbinas en un parque eólico pudiendo variar la cantidad de turbinas usadas y el modelo de la turbina, pero tiene limitantes al llevarlo a la práctica, al no tener en cuenta una gran cantidad de variables como pueden ser, orientación del viento, el coste del parque en la inversión inicial y mantenimiento.

## Referencias

- [1] Aerogeneradores In <http://eoliccat.net/principios-de-la-energia-eolica/como-funciona-un-aerogenerador/?lang=es:text=Los> , 2020.
- [2] Funcionamiento aerogeneradores In <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/como-funcionan-parques-eolicos-terrestres> , 2020.
- [3] Terrenos aerogeneradores In <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/> , 2020.
- [4] Aire y viento aerogeneradores In <https://www.areatecnologia.com/electricidad/energia-eolica.html> , 2020.