

Disposición de Aerogeneradores para la optimización de energía eólica mediante algoritmos genéticos

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario

Abstract

El presente documento tiene como objetivo aportar una solución posible del problema de “cómo distribuir un conjunto finito de aerogeneradores de un parque eólico sobre un terreno determinado”. Como mejor solución, esta metodología busca indicar la distribución de aerogeneradores que mayor potencia eléctrica produzca, siendo esta solución dependiente de diferentes factores considerados para la investigación, como la velocidad y dirección del viento, la rugosidad del terreno, el efecto estela o el modelo de aerogenerador utilizado, entre otros. Para obtener esta distribución de aerogeneradores, se desarrolló un algoritmo genético que a partir de un conjunto inicial de soluciones generadas aleatoriamente y aplicando distintos operadores de intercambio genético, intenta encontrar la mejor solución posible para el problema planteado. En los siguientes apartados se explicará el problema abordado junto con los fundamentos principales y la descripción de la metodología aplicada para la búsqueda de la solución óptima, así como también la disposición y discusión de los resultados obtenidos y las conclusiones.

Palabras Clave

Algoritmos genéticos, Parque Eólico, Aerogeneradores, Maximizar Potencia Generada, Energía Eólica

Introducción

Se denomina energías renovables a aquellas fuentes energéticas basadas en la utilización del sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal. Se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles, como sucede con las energías convencionales, sino recursos capaces de renovarse ilimitadamente. Su impacto ambiental es de menor magnitud dado que además de no emplear recursos finitos, no generan contaminantes. Sus beneficios van desde la

diversificación de la matriz energética del país hasta el fomento a la industria nacional; y desde el desarrollo de las economías regionales hasta el impulso al turismo.

En Argentina, la generación de energía eólica ya es un hecho y se produce aprovechando la cinética del viento, la cual se transforma para ser utilizada de distintas formas. Una de las posibilidades de uso es la conversión a energía eléctrica, es decir, que esa fuerza del viento pueda conectarse a la red y generar energía complementaria a la ya existente. La Cámara Eólica Argentina (CEA) llevó adelante un recuento de la cantidad de aerogeneradores que están en funcionamiento en Argentina. Hoy en día, hay 57 parques eólicos en operación distribuidos a lo largo y ancho de Argentina teniendo un total de más de 900 aerogeneradores. Las provincias que actualmente más instalaciones tienen son Chubut y Buenos Aires. “El año pasado los aerogeneradores instalados en el país generaron 12.915,8 gigavatios hora (GWh), el equivalente a abastecer más de 2.7 millones de hogares”, contó Héctor Ruiz Moreno, gerente general de la Cámara Eólica Argentina (CEA). La existencia de vientos frecuentes e intensos en buena parte del país, sumado a la existencia de grandes espacios alejados de los núcleos de la población hace que Argentina cuente con un potencial superlativo en, al menos, el 70 por ciento de su territorio para la instalación de parques eólicos.

Se planteará la posibilidad de proyectar la construcción de uno de estos parques en la provincia de Santa Fe, provincia en la cual hasta la fecha no existe ninguno de los mismos. Según un estudio realizado por el Programa de Generación de Energías Renovables de la Provincia de Santa Fe (GENERFE), dentro del cual se analiza los vientos en diferentes localidades se llegó a la siguiente conclusión: “se observa un potencial interesante para el aprovechamiento de este recurso con fines de generación de energía eléctrica, principalmente en el sur de la provincia, en las localidades de Rufino y Venado Tuerto, con velocidades medias por encima de los 6 m/s a 60 m de altura, con vientos predominantes principalmente del sector Norte.”

En nuestro trabajo, mediante la implementación de Algoritmos Genéticos se intentará encontrar la mejor configuración de los aerogeneradores dentro del parque, con el objetivo de obtener la mayor cantidad de potencia generada.

Consideraciones Generales

- Modelo de aerogenerador, los cuales puedan ser utilizados en la República Argentina, de acceso o fabricación nacional
 - GAMESA - G47
 - GAMESA – G128
- Evitar que dos molinos adyacentes interfieran mutuamente con su funcionamiento entre molinos, para ello la distancia optima entre los mismos será de 4 veces el radio del rotor.

- Efecto Estela Simple
- El viento sin perturbar se mantiene constante y proviene de una sola dirección y puede se puede modificar las direcciones y velocidades de este.
- Un terreno puede tener una cantidad máxima de 25 molinos.
- La rugosidad del terreno será de 0.05, dejando la posibilidad de modificar la misma. Cuanto mayor es la longitud de rugosidad del terreno menores velocidades de viento se tiene a una determinada.

Elementos del Trabajo y Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó el lenguaje de programación Python, en su versión 3.9.5, como IDE se hizo uso de Visual Studio Code. Además, el versionado fue gestionado mediante GitHub, empleando la herramienta GitKraken, la cual nos facilitó el trabajo coordinado en equipo.

Las librerías utilizadas fueron las siguientes:

Numpy: es una biblioteca para el lenguaje de programación Python que da soporte para crear vectores y matrices grandes multidimensionales.

Pandas: es una librería de Python especializada en la manipulación y el análisis de datos.

Itertools: es un módulo que proporciona varios métodos rápidos y eficientes que son útiles para el manejo de iteradores en memoria.

Random: La librería random es proveída por Python. Ofrece generadores de números pseudoaleatorios para varias distribuciones.

Tkinter: es un binding de la biblioteca gráfica Tcl/Tk para el lenguaje de programación Python. Se considera un estándar para la interfaz gráfica de usuario para Python.

Un algoritmo genético es un método de búsqueda aleatorio que se basa en los conceptos de la selección natural, donde aplicando diferentes operadores entre las diferentes soluciones a lo largo de las generaciones se intenta obtener la mejor solución posible aunque no sea el Optimo del problema en cuestión. En esta sección se detallarán las características de la metodología, teniendo en cuenta su objeto principal que son los “cromosomas” y los diferentes operadores genéticos que se le aplican como la Selección, el Crossover y la mutación. Así como también explicaremos el proceso de inicialización del algoritmo en cuestión.

Cromosomas: En un algoritmo genético, los cromosomas son un conjunto de Genes que representan una solución posible del conjunto solución del problema. Para codificar un cromosoma en este problema se utilizó una Matriz de 10*10 donde cada casillero de esta es una posible posición de un Aerogenerador. En nuestro problema, la matriz será del tipo Binaria, donde cada casillero tendrá un valor de 1 o 0 en caso de tener un aerogenerador instalado en esa posición de la matriz o no respectivamente. A lo largo de la codificación esta matriz se replicará tanto de manera binaria, con la disposición de turbinas en el parque, como también una matriz de potencias donde tendremos las potencias eléctricas

generadas por cada aerogenerador en su posición.

Población inicial: Al comenzar una ejecución de nuestro algoritmo genético, el conjunto inicial de cromosomas que corresponde a la primera generación se genera de manera aleatoria, donde cada cromosoma se genera inicialmente como una matriz con un número al azar de generadores instalados $n\{0,25\}$ y luego se ordenan aleatoriamente en la matriz que representa el parque eólico, y así generándose 50 cromosomas que componen la población inicial.

Selección: Luego de generar una población inicial, por cada generación se realizará el flujo de un algoritmo genético canónico.

Algoritmo Genético

```

1:  $t \leftarrow 0$ ; /* contador de iteraciones */
2: inicializar(  $Pa$  ); /* Inicializa la población */
3: mientras no hay criterio de parada (  $t, Pa$  ) hacer
4:    $Padres \leftarrow$  selección (  $Pa$  ); /* Seleccionar padres */
5:    $Hijos \leftarrow$  reproducción (  $Padres$  ); /* Cruce */
6:   mutación (  $Hijos$  ); /* mutar los hijos */
7:   evaluar (  $Hijos$  ); /* evaluar los hijos */
8:    $nuevaGeneración =$  reemplazo (  $Pa, Hijos$  ); /* reemplazo la población por la actual */
9:    $t \leftarrow t + 1$ ; /* Una iteración más */
10: fin mientras
11: Retornar: mejor solución encontrada.
```

Figura 1: Algoritmo Genético Canónico

Al momento de seleccionar los cromosomas que serán padres de los cromosomas de las próximas generaciones de soluciones, se aplica una selección del tipo “Ruleta” donde mediante una función Fitness se le da mas importancia a los cromosomas que mas se acerquen a una solución óptima. Para esto se declaró Función objetivo del algoritmo genético la fórmula de Potencia eléctrica generada por el Parque eólico que representa el cromosoma, siendo esta la suma de las potencias de cada turbina.

$$Fitness = \frac{f_{obj}(x)}{\sum_{i=1}^n f_{obj}(i)}$$

$$f_{obj} = \sum_i^{10} \sum_j^{10} Pot_{i,j}$$

La función objetivo es la potencia total generada por el cromosoma x. Entonces se calculará la proporción que representa un cromosoma específico en cuanto a su potencia generada al total de la población.

Teniendo en cuenta esto, con el valor de esa proporción se seleccionarán padres de manera aleatoria, dándole más probabilidad de selección a los cromosomas con mayor proporción del total. Estos cromosomas elegidos de a pares serán a los que se le aplicaran los operadores de intercambio genético explicados a continuación y así se generaran los cromosomas que conforman la generación siguiente.

Crossover: Luego de seleccionar las parejas que serán padres de los cromosomas de la próxima generación, se aplica el operador genético de Crossover o Cruza, el cual consiste en intercambiar material genético entre dos cromosomas. Para este problema se utilizó un método de crossover especializado donde para el primer hijo generado se utilizan las mejores Filas de los dos padres y para el segundo hijo se utilizan las mejores columnas. Entonces, al momento de decidir cuales son las mejores filas o columnas, se realiza el cálculo de la función objetivo para cada fila o columna y se las ordena de mayor a menor potencia total, para poder seleccionar las 10 mejores y formar nuevamente una matriz 10*10 que representa un cromosoma completo.

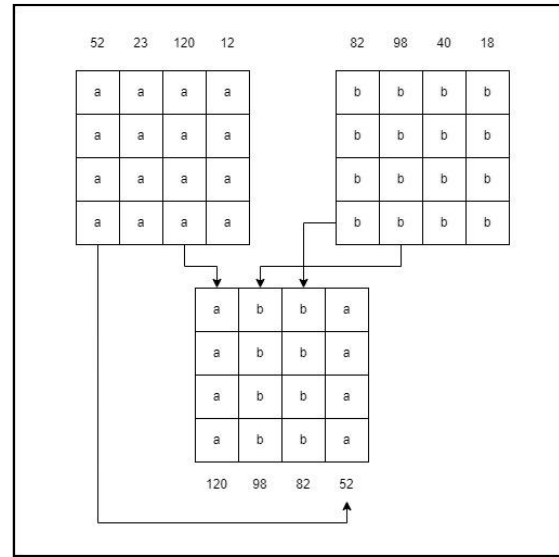


Figura 2: Crossover entre matrices 4*4 mejores columnas

Mutación: Debemos tener en cuenta que este evento biológico de mutación genética es, en la naturaleza, uno de los eventos que menor probabilidad de suceder tienen, debido a que en su mayoría puede ser un cambio letal para el individuo; Pero a lo largo de las generaciones, la mutación le dará diversidad genética a los individuos existentes. Para la investigación actual se decidió utilizar un método de mutación simple, donde de manera aleatoria se selecciona una posible posición de una turbina en el parque eólico y se cambia su valor, en el caso de que exista un aerogenerador instalado lo elimina y viceversa.

Elitismo: Se entiende por elite a un grupo pequeño que por algún motivo, característica, facultad o privilegio es superior o mejor en comparación al grueso de una población determinada; con cualidades de las que la gran mayoría no disfrutan. Entonces debemos aplicar a nuestra metodología que el algoritmo genético guarde siempre al mejor elemento de la población sin hacerle ningún cambio,

se puede demostrar que el algoritmo converge en probabilidad al óptimo. En otras palabras, al aumentar el número de iteraciones, la probabilidad de tener el óptimo en la población tiende a uno.

Resultados

En la presente sección se expondrán los resultados obtenidos en las diferentes ejecuciones del algoritmo genético, en la cual se estudiarán diferentes casos variando los parámetros iniciales del mismo, con el objetivo de obtener un diverso espectro de soluciones. Es necesario destacar que para cada uno de los resultados obtenidos se optó por mostrar la solución implementando el Algoritmo Genético con Elitismo.

Caso 1:

- Gamesa G-47
- 50 ciclos
- Viento Norte de 10 m/s
- Longitud efecto estela 2.3 celdas

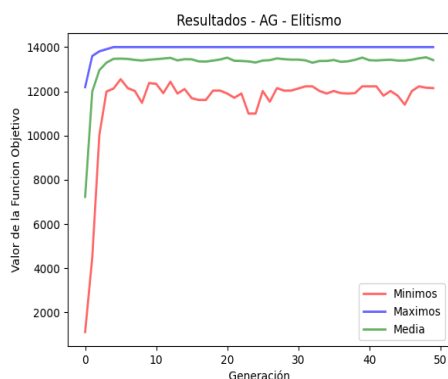


Figura 3: Resultados Caso 1

Podemos apreciar como los valores máximos de la función objetivo del algoritmo genético convergen hacia la máxima potencia que puede generarse

teniendo en cuenta una capacidad máxima de 25 aerogeneradores.

La disposición de estos es la siguiente:

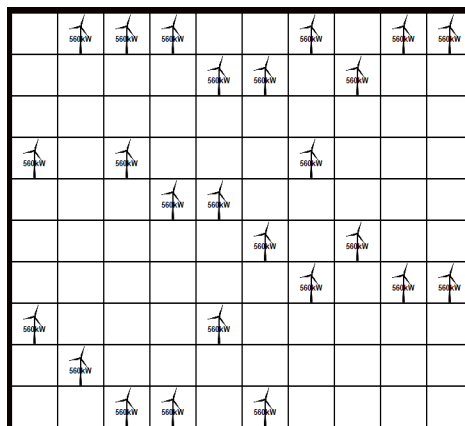


Figura 4: Distribución Caso 1

Potencia Total: 14.000 Kw/s

Cantidad de Aerogeneradores: 25

Caso 2:

- Gamesa G-47
- 50 ciclos
- Viento Norte de 7 m/s
- Longitud efecto estela 2.3 celdas

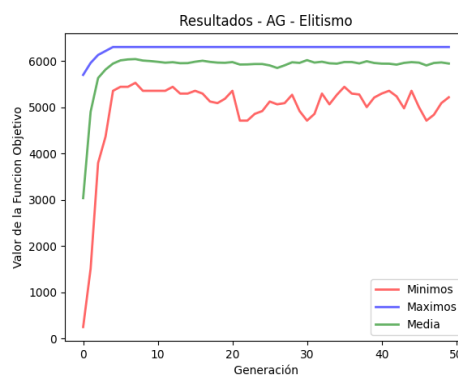


Figura 5: Resultados Caso 2

Al igual que en el primer caso, los valores de la función objetivo a medida que avanza el Algoritmo Genético convergen hacia el

resultado optimo, la principal variación se produce en la potencia total generado, la cual es menor debido a la velocidad del viento.

La disposición de los aerogeneradores es la siguiente:

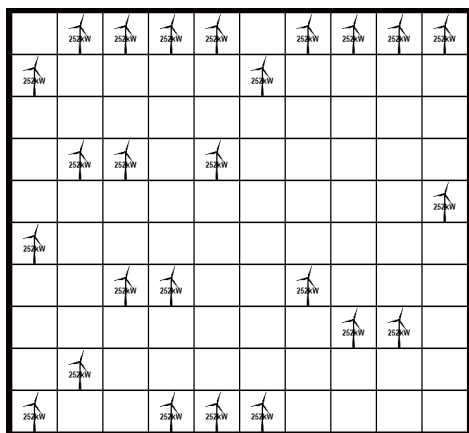


Figura 6: Distribución Caso 2

Potencia Total: 6.300 Kw/s

Cantidad de Aerogeneradores: 25

Caso 3:

- Gamesa G-128
- 50 ciclos
- Viento Norte de 25 m/s
- Longitud efecto estela 2.3 celdas

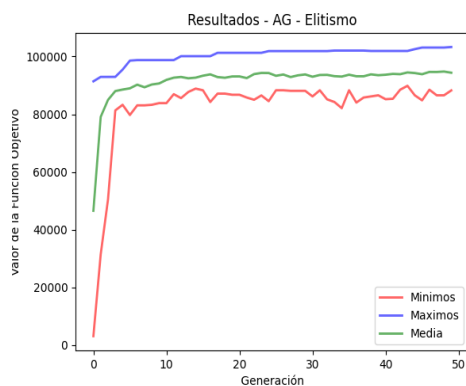


Figura 7: Resultados Caso 3

La disposición de los aerogeneradores es la siguiente:

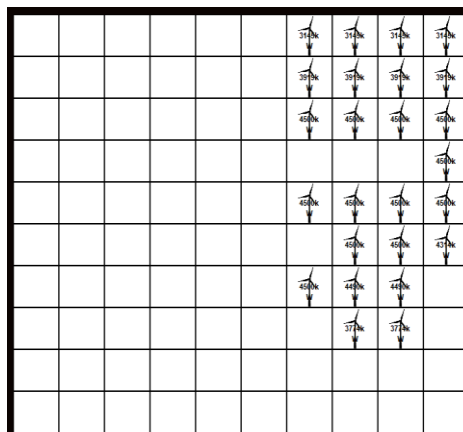


Figura 8: Distribución Caso 3

Potencia Total: 103.098 Kw/s

Cantidad de Aerogeneradores: 25

Discusión

Al analizar los resultados de la ejecución del algoritmo genético aplicado a los casos 1 y 2, podemos ver como la distribución de las turbinas eólicas obtiene un formato que afronta el fenómeno del efecto estela de una forma óptima, dejando como mínimo entre cada aerogenerador una distancia de 2 casilleros, permitiendo así que la potencia generada por cada uno de ellos sea la máxima posible en base al viento actual. En cambio, cuando revisamos los resultados del caso 3 podemos apreciar como la distribución del parque eólico se ve completamente distinta. Esto se debe a que, para el aerogenerador utilizado, la potencia generada llega a su máximo en vientos desde 13m/s a 18m/s y luego disminuye periódicamente hasta vientos de 27m/s donde la turbina deja de funcionar por seguridad. Por este motivo, vemos que el algoritmo genético acomoda los aerogeneradores de tal manera de aprovecharse del efecto estela simple para

obtener la mayor potencia posible de cada turbina, dado que el viento inicial es de 25m/s.

Conclusión

Teniendo en cuenta que la programación del algoritmo se encuentra habilitada para aplicar una variación tanto de los modelos de aerogeneradores como de los valores iniciales del entorno (velocidad del viento, rugosidad del terreno, cantidad de turbinas, etc.) y que también permite una fácil modificación de este para acoplarlo al problema que se presente; Como conclusión, los algoritmos genéticos pueden ser un método de gran ayuda de implementación simple que nos permita encontrar muy buenos resultados para problemas de este tipo, en los cuales no se conoce un método de optimización especializado. Sin embargo, debemos considerar que los resultados del algoritmo, si bien maximizan la potencia generada, no tienen en cuenta diferentes factores de gran importancia a la hora de desplegar un parque eólico; como pueden ser el costo tanto de transporte, instalación, así como también el aprovechamiento del espacio total del parque, ya que para el algoritmo será lo mismo instalar dos aerogeneradores al mínimo de distancia para que el efecto estela no se aplique, que posicionarlos a una distancia extrema.

Referencias

[1] Díaz, D. (2013), Introducción a los algoritmos genéticos.

[2] GENERFE (2018), Informe de vientos en la Provincia de Santa Fe
<https://www.santafe.gob.ar/ms/generfe/wp-content/uploads/sites/23/2018/11/Informe-de-medic%C3%B3n-de-vientos.pdf>

[3] Schiavoni, Ortega Coldorf, Berruti (2022), Proyecto de Investigación – documentación guía para la investigación.