

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA



# Informe: metaheurística WOMTEL

**Asignatura:** Investigación de operaciones

**Profesor:** Leslie Perez

**Integrantes:** Luis Arce  
Dorian Canales

Valparaíso, Junio 2023

<b>Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>Desarrollo.....</b>	<b>3</b>
Metaheurística.....	3
Ventaja y desventaja.....	3
Pseudocódigo, componentes y parámetros.....	5
Resultados del código.....	6
Mejor solución.....	7
Comparación de métodos.....	8
<b>Conclusión.....</b>	<b>9</b>

## Introducción

Pensar en conseguir que todas las comunas de la Región de Valparaíso tengan cobertura de la compañía de WOMTEL es un tanto complicado. Por lo cual hay que desarrollar un plan en donde costo/comunas sea factible y ahorre la mayor cantidad de dinero posible. Hay que tener en cuenta que existen gran cantidad de posibles soluciones, válidas o no, que nos impone un gasto enorme (millones de dolares) del cual debemos minimizar el costo de la implementación de dichas antenas repetidoras.

En el desarrollo de el curso Investigación de Operaciones, se ha adquirido conocimientos tales que antes de arrancar con esta asignatura no se tenían, pero con la adquisición de éste hoy en día podemos arrancar a resolver problemas del cuales tienen tantas soluciones como átomos en el universo. Debido a esto, planteamos una serie de preguntas que se espera que en el desarrollo de éste informe se resuelvan tanto para el lector como para los escritores.

Consecuente a ésto, se esperará resolver qué metaheurística se puede ocupar para poder generar soluciones factibles para la empresa, entrando en el significado, en grandes rangos, de la metaheurística, ver las desventajas y ventajas que plantea la implementación de ésta metaheurística; y el porqué surge la elección de ésta. También desarrollaremos un pseudocódigo para demostrar el cómo se vería dicha aplicación de la metaheurística, además de sus componentes y sus valores que habrán en los parámetros. Para por último demostrar qué resultados logra dar, con su respectiva media y desviación estándar del código que implementamos para luego compararla con otra metaheurísticas que se implementó para el desarrollo de éste trabajo.

Cabe destacar que el problema se desarrolló con el lenguaje de programación de java, con la herramienta IntelliJ IDEA y se probó el código en éste y en NetBeans.

Un dato importante es que se implementó un CSV que tiene en su interior la id de las comunas, nombre de las comunas y las id de las comunas aledañas a esa comuna, por lo cual, podemos decir que el código que se desarrolló para el problema pero que no tan solamente se puede implementar para la Región de Valparaíso, sino que se puede ampliar a nivel nacional e internacional.

## Desarrollo

### Metaheurística.

En el desarrollo de programar el código del problema se atravesó el primer problema, ¿Qué metaheurística se puede implementar?, existen muchas variedades para poder resolver este problema, pero se optó por implementar el algoritmo genético ya que no se requiere tener grandes conocimientos de metaheurística y es fácil de implementar debido a que tiene su estructura bien definida (cruzamiento, mutación y selección). Además hay dos métodos de selección que se implementan, la selección elitista y la selección de ruleta, que más adelante se dará pie a explicar en dónde elegimos implementarlos y el porqué.

Pero hay que dar paso a definir qué es un algoritmo genético, pues como bien dice su nombre, un algoritmo genético se inspira en la evolución biológica y la genética, específicamente del cruzamiento de dos cromátidas en un punto para crear un cromosoma. Además de eso, los cromosomas resultantes (hijos) es la mezcla entre los cromosomas del padre y de la madre, por lo cual la combinación de ambas cromátidas generan copias prácticamente idénticas en un 50% de su padre y un 50% de su madre pero con un grado de mutación para generar evolución y variedad. Debido a esta combinación tan armónica que tiene la evolución genética, el algoritmo genético comienza con una población inicial que representa posibles soluciones, de los cuales se selecciona un porcentaje de éstos de manera aleatoria para que sean los padres de las soluciones futuras, se combinan, para que luego, el resultado de esas combinaciones puedan mutar y así generar las nuevas generaciones de soluciones, para por último repetir el ciclo una cantidad definida de veces.

### Ventaja y desventaja.

La principal ventaja en términos de implementación de esta metaheurística es que son poco afectados por los máximos locales, pero teniendo en cuenta que su principal desventaja, en la cuál se vió involucrado el código en el que se implementó, es el hecho de que no nos asegura de generar soluciones factibles, por lo cual, hay que ir validando que la mejor solución sea siempre 100% válida, ya que de cualquier otra manera será una solución que no servirá para la colocación de antenas, ya que existirán comunas que no lograrán tener

cobertura, provocando pérdidas económicas que la empresa WOMTEL no se lo puede permitir.

Hay que tener en cuenta que el algoritmo genético que implementamos tendrá una solución inicial de tamaño de 100 soluciones creadas de manera aleatoria, en donde cada solución será un vector del mismo tamaño de la cantidad de comunas. Esto quiere decir que la posición  $i$  de la solución corresponderá a la misma posición  $i$  de el arreglo de comunas. Éste arreglo de la solución tendrá los 0 y 1 esparcidos de manera totalmente aleatoria, pero en donde la asignación de un 0 es mayor a la de implementar un 1 a la solución. Ésto se hace para que no existan soluciones iniciales una una excesiva cantidad de antenas. Pero luego de generar esas soluciones aleatorias hay que recorregirlas para que en caso de que la mejor solución sea una de las que se generaron al principio, se pueda guardar y utilizar.

<b>Solución</b>	1	0	0	1	1	0	0	...	1
Posición $i$	0	1	2	3	4	5	6	...	36

<b>Comunas</b>	<i>Calle Larga</i>	<i>San Esteban</i>	<i>Rinconada</i>	<i>Los Andes</i>	<i>Cabildo</i>	<i>La Ligua</i>	<i>Papudo</i>	...	<i>Viña del Mar</i>
Posición $i$	0	1	2	3	4	5	6	...	36

Tabla 1. Representación relación Solución con Comunas.

Cómo bien se puede observar e inferir de la tabla, se puede ver que la mezcla entre comunas y solución, daría que las posiciones 0, 3, 4 y 36 tendrían antenas, eso quiere decir que Calle Larga, Los Andes, Cabildo y Viña del Mar tendrían antenas.

## Pseudocódigo, componentes y parámetros.

```
Iteraciones = 100;
Tamaño = 100;
B ← null;
S ← Primera_Solución(S, Array_Comunas);
While (Iteraciones > 0) do
    S* ← Nueva_Generación[0];
    P[Tamaño*30%] ← Elección_Padres(S, Array_Comunas);
    While ( S* < Tamaño) do
        H = Mejor_Hijo(P, Array_Comunas);
        H = Mutar(H, Array_Comunas);
        S* add H;
    End
    S[Tamaño] ← Mejores_Generación(S, S*, Array_Comunas);
    If (Tamaño = 100)
        B ← Mejor_Solución( S, Array_Comunas);
    Else
        A ← Mejor_Solución ( S, Array_Comunas);
        If ( costo(A) < costo(B))
            B = A;
        End
    End
    Iteraciones--;
End
Mostrar_Mejor_Solución(B);
```

Imágen 1. Pseudocódigo.

Como se puede observar en al imágen del pseudocódigo, tendremos 100 iteraciones y 100 soluciones iniciales y una variable donde se guardará la mejor solución. Luego se entrará al primer ciclo while que no se detendrá hasta terminar con las 100 iteraciones, en donde generará una variable vacía donde se irán guardando todas las soluciones nuevas hasta llegar al mismo tamaño que de la solución inicial. Además de elegir de manera elitista a el 30% de los mejores padres para el cruce, ya que se pensamos que para generar mejores soluciones se debe empezar con una base sólida de buenas soluciones.

Luego en el ciclo while del interior se va a detener cuando se generen la misma cantidad de soluciones que la inicial, por lo cual dentro de ésta se cruzarán de manera randómica, en un punto, los dos padres elegidos aleatoriamente del arreglo de padres para generar así dos hijos, de los cuales se elegirá siempre al mejor ejemplar, ésto tomando en cuenta el acto cruel que ocurre en la naturaleza en donde los padres y a veces los hermanos deciden sacrificar al hermano más débil para aumentar la probabilidad de sobrevivencia del mejor ejemplar.

Luego de eso, se van a mutar el 100% de los hijos, ya que los hijos que se generen de la cruza de los padres vendrán sin ser necesariamente hijos con soluciones válidas, por lo cual se deben convertirse en soluciones válidas mutando para ser válidas.

Tras lo anterior, la nueva solución será elegidos elitistamente de las soluciones que se tenían antes más la suma de soluciones de la nueva generación. Esto quiere decir que la estrategia de selección será de (100 + 100), en donde la siguiente generación será elegidas de la generación anterior y de la generación nueva.

Por último se verá cuál es la mejor solución que se ha generado para que cuando termine de ejecutarse el código se imprima la mejor solución generada.

### Resultados del código.

Ésto ha generado un conjunto de soluciones de las cuales son han sido las siguientes:

Ejecución	f(x)
1	21,2
2	19,7
3	20,2
4	19,7
5	21,7
6	16,2
7	17,2
8	22,2
9	18,2
10	17,2
<b>Media</b>	<b>19,35</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>4,28</b>

Tabla 2. ejecuciones del código

Cómo bien se ve en la tabla, se puede ver que tiene una media y desviación estándar bastante prudente, es decir que generaría soluciones bastante factibles para la empresa, en donde se ahorraría cerca de un 76.03% del total de antenas que se pueden colocar en la región de Valparaíso (80,7 MMD).

### Mejor solución.

Cabe destacar que una de las mejores soluciones que se ha obtenido al ejecutar el código es 16,2 MMD, que significa que se está ahorrando un 79.92% del total que pudo haber gastado en colocar una antena por cada comuna. Los lugares donde mostraba que se colocarían antenas eran Rinconada, Los Andes, La Ligua, Limache, Quillota, Santo Domingo, San Felipe y Casablanca. Esto deja en claro que tiene una eficiencia significativa y además dando por entender que con pocas antenas esparcidas estratégicamente por el las comunas, logramos tener una cobertura del 100%. Dicha cobertura se puede observar en la siguiente imagen.

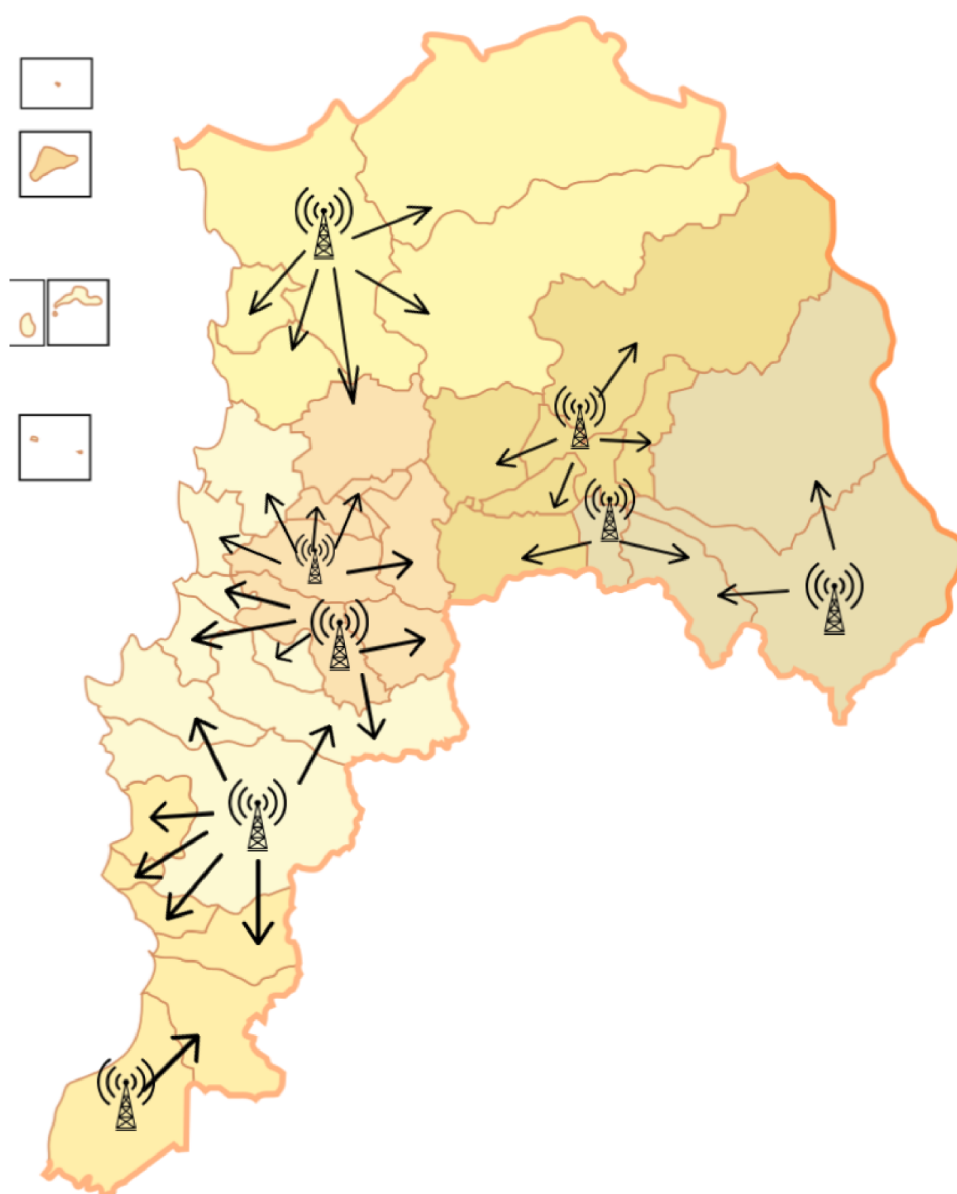


Imagen 2. mejor solución



Cómo se puede observar, todas las comunas de la Región de Valparaíso contarían con cobertura, si no que se gasta la menor cantidad de dinero en la implementación de 8 antenas únicamente.

### Comparación de métodos.

Por último y no menos importante, el algoritmo genético se puso a prueba contra otro algoritmo empleado para la misma solución, dando como resultado el siguiente:

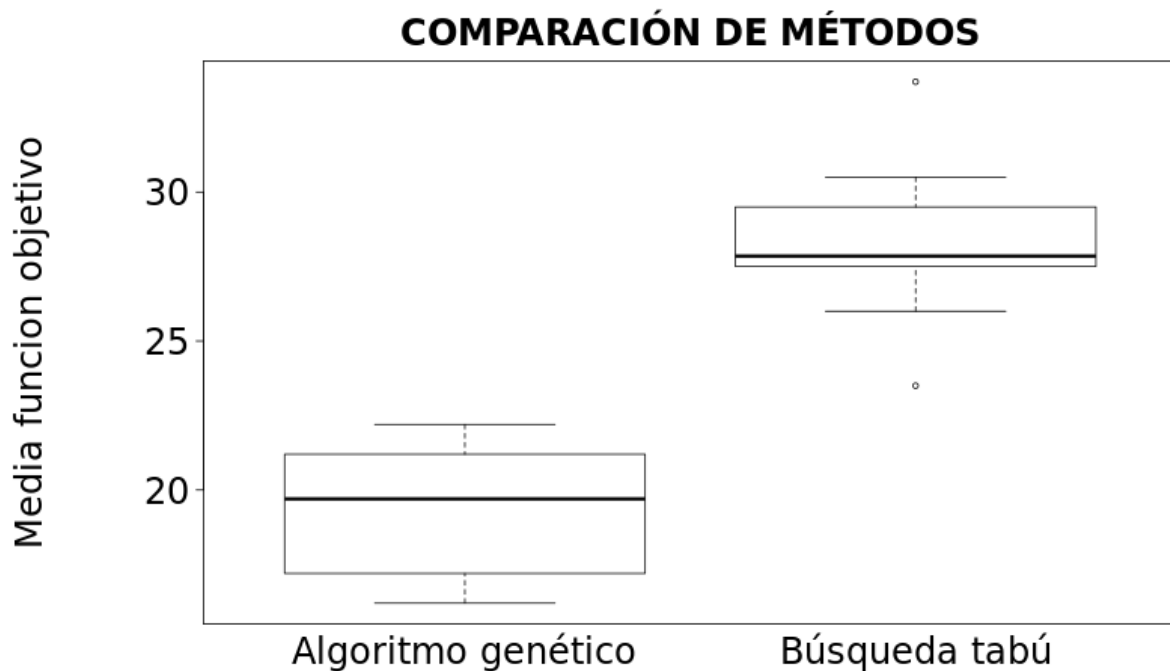


Imagen 3. boxplot comparacion

Se puede observar en el boxplot que el algoritmo genético tiene una media bastante más baja que la media de la búsqueda tabú, además de que la gran parte de sus datos se encuentran bajo la media. Por otro lado, su contrincante tiene una media mayor pero con resultados más precisos y menos dinámicos.

## Conclusión

En consecuencia a lo anteriormente mencionado, se puede concluir que en términos de eficiencia en encontrar soluciones, la metaheurística es muy buena opción, ya que con ésta herramienta se puede encontrar una solución lo bastante óptima de acuerdo a costo / tiempo, en un área donde las posibles soluciones son prácticamente infinitas. Además de que la complejidad de implementarlos son mínimas.

En el transcurso de la creación e implementación de la metaheurística, lo más complejo que se atravesó fue el ajuste de las variables, es decir, es asignar cuántas iteraciones queremos, cuál es el tamaño de soluciones iniciales, el tamaño de la selección de los padres, entre otros.

Esto ha generado nuevas ideas para el perfeccionamiento de la solución. Una de éstas es ir guardando las mejores soluciones que se hayan generado para que en las siguientes ejecuciones se partan desde las soluciones ya generadas de las antiguas ejecuciones.

Esta técnica no tan solo se puede utilizar a nivel nacional, si no que se puede ampliar a manera global, ya que con la implementación del CSV que tiene el código puede aprender nuevas ciudades de una manera más rápida y sencilla que el cambiar todas las comunas de manera manual en las variables. Es decir, que puedes tomar un CSV que tenga la id de la comuna o estado, el nombre y la id de sus vecinas.

En resumen, el algoritmo genético es una metaheurística que se basa en el cruzamiento de la cromátidas para generar descendencia. Por otro lado, en la implementación del código, se puede apreciar que da muy buenos resultados, otorgando que en la Región de Valparaíso se logre ahorrar alrededor de un 76.03% en promedio en antenas, por lo cual genera una ganancia de 61.35 MMD en promedio que WOMTEL se ahorra y que favorecería mucho al crecimiento de la empresa y la mantención de sus instalaciones. Por último y con lo anteriormente mencionado, WOMTEL podría extenderse a otras partes del país, en donde con ayuda de nuestro código lograría expandirse mucho más de lo que se tenía presupuestado y así, en un corto plazo, WOMTEL logre internacionalizarse.