



Universidad  
de La Laguna

---

# Sistema inteligente, basado en metaheurísticas, para tareas logísticas en situaciones de emergencia

*An intelligent system, based on metaheuristics, for logistic tasks in  
emergency situations*

José Alberto Pérez Melián

Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Trabajo de Fin de Grado

---

San Cristóbal de La Laguna, 5 de septiembre de 2014



D. **José Marcos Moreno Vega**, con N.I.F. 42841047-M, profesor Titular de Universidad, y D. **Eduardo Aníbal Lalla Ruiz**, con N.I.F. X4358138Y, adscritos al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna,

## C E R T I F I C A N

Que la presente memoria titulada:

*“Sistema inteligente, basado en metaheurísticas, para tareas logísticas en situaciones de emergencia”*

ha sido realizada bajo su dirección por D. **José Alberto Pérez Melián**, con N.I.F. 54115979-S.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en San Cristóbal de La Laguna a 5 de septiembre de 2014



## Agradecimientos

A D. José Marcos Moreno Vega y a D. Eduardo Aníbal Lalla Ruiz por su labor en la Dirección de este Proyecto.

A Dña. María Belén Melián Batista y a D. Christopher Expósito Izquierdo por su inestimable colaboración.

A los profesores de la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna.

Al Servicio de Apoyo Informático a la Investigación (SAII) de la Universidad de La Laguna por la asistencia prestada al usar sus sistemas de cómputo para la realización de este Proyecto.

A todas aquellas personas que, de alguna manera, me han ayudado y apoyado en la realización de este Proyecto.

A mi familia y amigos.



## Resumen

*La respuesta ante situaciones de emergencia requiere de un planteamiento meticuloso e implica tomar decisiones que afectan a la población, supliendo todas las demandas en un periodo de tiempo determinado usando los recursos limitados de los que se disponga.*

*En este trabajo se presenta el Emergency  $k$ -Location Routing Problem ( $EkLRP$ ) para atajar el difícil problema de la planificación en situaciones de emergencia. El objetivo del  $EkLRP$  es minimizar el tiempo requerido para proveer de ayuda humanitaria a todas las víctimas de una catástrofe. Se han implementado tres metaheurísticas, la búsqueda local, la búsqueda multiarranque y la Variable Neighbourhood Search, para realizar un análisis computacional y estudiar su comportamiento en escenarios de prueba.*

*Tras el estudio, la mejor metaheurística ha resultado la búsqueda multiarranque, tanto en términos de valor objetivo de las soluciones como en tiempo de cómputo.*

**Términos clave:** Emergency  $k$ -Location Routing Problem, emergencia, planificación, metaheurísticas, búsqueda local, búsqueda multiarranque, Variable Neighbourhood Search.





## Abstract

The response in an emergency situation requires a meticulous planning and it involves taking decisions that affect the population, supplying all demands in a short period of time using the available limited resources.

This work proposes the Emergency  $k$ -Location Routing Problem ( $Ek$ LRP) to solve the difficult problem of the plannification in emergency situations. The objective of the  $Ek$ LRP is to minimize the time required to provide the humanitarian aid to all the victims of a disaster. Three metaheuristics have been implemented, the local search, the multistart search and the Variable Neighbourhood Search to make a computational study and see how they work in test scenarios.

After the study, the best metaheuristic was the multistart search, in terms of objective value and computational time.

**Keywords:** *Emergency  $k$ -Location Routing Problem, emergency, planification, metaheuristics, local search, multistart search, Variable Neighbourhood Search.*



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Estructura de la memoria . . . . .	2
<b>2. Estado del arte</b>	<b>3</b>
2.1. Desastres naturales . . . . .	4
2.1.1. Efectos de los desastres . . . . .	5
2.2. Logística de emergencias . . . . .	5
2.2.1. Planificación de la logística . . . . .	5
2.2.2. Logística de la cadena de suministro . . . . .	6
2.2.3. Análisis de las necesidades . . . . .	6
<b>3. Emergency <math>k</math>-Location Routing Problem</b>	<b>9</b>
3.1. Introducción . . . . .	9
3.2. Soluciones . . . . .	10
<b>4. Sistema inteligente</b>	<b>13</b>
4.1. Datos del problema . . . . .	13
4.2. Implementación . . . . .	13
4.2.1. Generador de escenarios . . . . .	13
4.2.2. Soluciones . . . . .	16
4.2.3. Algoritmos para generar soluciones iniciales . . . . .	19
4.2.4. Operadores básicos . . . . .	22
4.2.5. Metaheurísticas . . . . .	23
<b>5. Estudio computacional</b>	<b>27</b>
5.1. Escenarios . . . . .	27
5.1.1. Puntos de reparto de ayuda y vehículos . . . . .	28
5.2. Análisis de técnicas para la generación de soluciones iniciales . . . . .	28
5.3. Análisis de metaheurísticas implementadas . . . . .	30
5.3.1. Búsqueda multiarranque . . . . .	30
5.3.2. Variable Neighbourhood Search . . . . .	30
5.3.3. Comparativa entre las metaheurísticas . . . . .	36
<b>6. Conclusiones y líneas de trabajo futuras</b>	<b>39</b>

<b>7. Conclusions and future work</b>	<b>41</b>
<b>A. Notación del EkLRP</b>	<b>43</b>
A.1. Notación . . . . .	43
<b>B. Tablas de resultados</b>	<b>45</b>
B.1. Algoritmos de soluciones iniciales . . . . .	45
B.2. Búsqueda multiarranque . . . . .	51
B.2.1. Algoritmo 1 . . . . .	51
B.2.2. Algoritmo 2 ( $p = 3$ ) . . . . .	63
B.2.3. Algoritmo 3 ( $p = 3$ ) . . . . .	75
B.2.4. Algoritmo 4 . . . . .	87
B.3. Variable Neighbourhood Search . . . . .	99
<b>Bibliografía</b>	<b>102</b>

# Índice de figuras

3.1. Situación de un área tras una catástrofe . . . . .	11
3.2. Ejemplo de solución para el Emergency $k$ -Location Routing Problem . . . . .	11
4.1. Fichero de ejemplo con un escenario . . . . .	14
4.2. Clase <code>Reader</code> . . . . .	15
4.3. Clase <code>Problem</code> . . . . .	15
4.4. Clase <code>Solution</code> . . . . .	16
4.5. Clase <code>Evaluator</code> . . . . .	17
4.6. Pseudocódigo para establecer puntos de reparto de ayuda de manera aleatoria	20
4.7. Pseudocódigo para establecer puntos de reparto de ayuda en base al coste y a la distancia . . . . .	20
4.8. Pseudocódigo para asignar víctimas a rutas de forma aleatoria . . . . .	21
4.9. Pseudocódigo para asignar víctimas a la ruta más cercana . . . . .	21
4.10. Pseudocódigo para asignar víctimas al depósito más cercano . . . . .	22
4.11. Clase <code>Swap</code> . . . . .	22
4.12. Clase <code>Reinsertion</code> . . . . .	23
4.13. Esquema general de la búsqueda multiarranque . . . . .	24
4.14. Esquema general de la Variable Neighbourhood Search . . . . .	25
5.1. Gráfica comparativa de algoritmos para generar soluciones iniciales . . . . .	29
5.2. Valor objetivo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 1	31
5.3. Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda multiarranque con el Al- goritmo 1 . . . . .	31
5.4. Valor objetivo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 2	32
5.5. Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda multiarranque con el Al- goritmo 2 . . . . .	32
5.6. Valor objetivo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 3	33
5.7. Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda multiarranque con el Al- goritmo 3 . . . . .	33
5.8. Valor objetivo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 4	34
5.9. Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda multiarranque con el Al- goritmo 4 . . . . .	34
5.10. Valor objetivo promedio para la búsqueda Variable Neighbourhood Search .	35

5.11. Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda Variable Neighbourhood Search . . . . .	35
5.12. Comparativa del valor objetivo promedio de la búsqueda multiarranque y la VNS . . . . .	36
5.13. Comparativa del tiempo de cómputo promedio de la búsqueda multiarranque y la VNS . . . . .	37

# Índice de tablas

4.1.	Estructura del fichero de texto que representa un escenario . . . . .	14
4.2.	Lista de Predecesores y Sucesores . . . . .	17
4.3.	Rutas de la solución . . . . .	18
4.4.	Coste de apertura de los puntos de reparto de ayuda . . . . .	18
4.5.	Coste de la Ruta 1 . . . . .	18
4.6.	Coste de la Ruta 2 . . . . .	18
4.7.	Coste de la Ruta 3 . . . . .	19
4.8.	Coste de la Ruta 4 . . . . .	19
4.9.	Algoritmos para generar soluciones iniciales . . . . .	22
5.1.	Características de los ficheros de escenarios generados . . . . .	27
5.2.	Rango de valores de los datos de los escenarios de prueba . . . . .	28
5.3.	Puntos de reparto de ayuda a establecer y número de vehículos para la búsqueda multiarranque . . . . .	28
5.4.	Puntos de reparto de ayuda a establecer y número de vehículos para la Variable Neighbourhood Search . . . . .	28
5.5.	Datos usados para el estudio del mejor algoritmo para generar soluciones iniciales . . . . .	29
B.1.	Algoritmos para generar soluciones iniciales - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo . . . . .	45
B.2.	Algoritmos para generar soluciones iniciales - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos . . . . .	46
B.3.	Algoritmos para generar soluciones iniciales - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos . . . . .	47
B.4.	Algoritmos para generar soluciones iniciales - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo . . . . .	48
B.5.	Algoritmos para generar soluciones iniciales - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos . . . . .	49
B.6.	Algoritmos para generar soluciones iniciales - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos . . . . .	50
B.7.	Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I) . . . . .	51

B.8. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)	52
B.9. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)	53
B.10. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)	54
B.11. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)	55
B.12. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)	56
B.13. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)	57
B.14. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)	58
B.15. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)	59
B.16. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)	60
B.17. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)	61
B.18. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)	62
B.19. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)	63
B.20. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)	64
B.21. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)	65
B.22. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)	66
B.23. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)	67
B.24. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)	68
B.25. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)	69
B.26. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)	70
B.27. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)	71
B.28. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)	72
B.29. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)	73



B.30. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II) . . . . .	74
B.31. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I) . . . . .	75
B.32. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II) . . . . .	76
B.33. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II) . . . . .	77
B.34. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I) . . . . .	78
B.35. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I) . . . . .	79
B.36. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II) . . . . .	80
B.37. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I) . . . . .	81
B.38. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II) . . . . .	82
B.39. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I) . . . . .	83
B.40. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II) . . . . .	84
B.41. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I) . . . . .	85
B.42. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II) . . . . .	86
B.43. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I) . . . . .	87
B.44. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II) . . . . .	88
B.45. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I) . . . . .	89
B.46. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II) . . . . .	90
B.47. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I) . . . . .	91
B.48. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II) . . . . .	92
B.49. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I) . . . . .	93
B.50. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II) . . . . .	94
B.51. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I) . . . . .	95

B.52. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II) . . . . .	96
B.53. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I) . . . . .	97
B.54. Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II) . . . . .	98
B.55. Variable Neighbourhood Search - 25 % de puntos de reparto de ayuda con 1, 2 y 3 vehículos . . . . .	100
B.56. Variable Neighbourhood Search - 33 % de puntos de reparto de ayuda con 1, 2 y 3 vehículos . . . . .	101

# Capítulo 1

## Introducción

En situaciones de emergencia a gran escala, la mejora de la capacidad de respuesta es un tema de estudio que está despertando gran interés debido a las consecuencias que tienen las grandes catástrofes tales como terremotos, huracanes, tornados, tsunamis, incendios forestales e incluso actos terroristas. La necesidad de crear una red de emergencia segura para reducir las pérdidas causadas por los desastres es cada vez mayor, pero se trata de una tarea complicada, ya que requiere de la coordinación de los gobiernos, organizaciones no gubernamentales, personal civil y militar. Si dejamos a un lado la política, la eficiencia en el análisis y en la programación de una red de suministro ante una emergencia es el factor más importante para controlar eficazmente el daño causado por una catástrofe.

La respuesta ante una emergencia requiere de un planeamiento meticuloso e implica tomar decisiones sobre el despliegue de los equipos de reparto de ayuda, el equipamiento necesario para prestar ayuda y los suministros a repartir. Las operaciones a llevar a cabo ante una emergencia deben satisfacer todas las demandas (agua potable, comida, medicinas,...) que se requieran en un corto periodo de tiempo usando los recursos de los que se disponga como, por ejemplo, la capacidad de la infraestructura para el reparto de la ayuda. Esto hace más complicado, si cabe, la búsqueda de una solución, y se hace necesario disponer de herramientas potentes para hallarla. El Instituto Fritz<sup>1</sup> recoge que solamente el 26 % de la planificación de las tareas de emergencia del tsunami ocurrido en el sudeste asiático en el año 2004 fueron hechas y monitorizadas por ordenador [5], hecho que pone de manifiesto la necesidad de investigar en este campo.

Una de las características de la planificación ante una gran situación de emergencia es que las demandas de ayuda, el transporte de los equipos y el almacenamiento son conocidos normalmente de antemano y permanecen constantes durante un determinado periodo de tiempo.

En este trabajo de fin de grado se presenta el Emergency  $k$ -Location Routing Problem ( $E_k$ LRP), que tiene como objetivo minimizar el tiempo requerido para proveer de ayuda humanitaria a todas las víctimas de una catástrofe.

---

<sup>1</sup><http://www.fritzinstitute.org/>

Los objetivos de este trabajo son:

- Introducir el  $E_k$ LRP
- Debido al coste computacional que supone obtener la solución óptima del problema y a la necesidad práctica de disponer de ésta de forma eficiente, en el presente trabajo se diseñan, implementan y evalúan un conjunto de técnicas metaheurísticas (búsqueda local, búsqueda multiarranque y Variable Neighbourhood Search) para solucionar el  $E_k$ LRP de forma eficiente.
- Realizar un estudio computacional de las metaheurísticas implementadas sobre escenarios de prueba para medir el tiempo de cómputo y la calidad de las soluciones que proveen.

## 1.1. Estructura de la memoria

Esta memoria se encuentra dividida tal como sigue:

- **Capítulo 1**  
Introducción a la logística de emergencias, su importancia y el reto que supone su planificación y gestión.
- **Capítulo 2**  
Revisión bibliográfica de los trabajos relativos a la gestión y planificación de la cadena de suministro de ayuda en situaciones de emergencia.
- **Capítulo 3**  
Presentación del Emergency  $k$ -Location Routing Problem ( $E_k$ LRP).
- **Capítulo 4**  
Estudio del  $E_k$ LRP, su implementación, las distintas maneras de obtener soluciones iniciales y las metaheurísticas implementadas.
- **Capítulo 5**  
Estudio computacional de las metaheurísticas implementadas en el punto anterior sobre unos escenarios de prueba.
- **Capítulo 6**  
Conclusión y líneas de trabajo futuras de esta memoria redactada en lengua española.
- **Capítulo 7**  
Conclusión y líneas de trabajo futuras de esta memoria redactada en lengua inglesa.
- **Anexo 1**  
Notación del  $E_k$ LRP.
- **Anexo 2**  
Tablas de resultados del estudio de las distintas metaheurísticas.

## Capítulo 2

# Estado del arte

Se estima que cada año ocurren más de 500 desastres naturales (tsunamis, terremotos,...) en nuestro planeta que provocan la muerte de alrededor de 75.000 personas y que afectan a más de 200 millones [7].

El Instituto Fritz ha recogido que los planes de logística realizados durante el tsunami que tuvo lugar en el Océano Índico en el año 2004 fueron hechos sin la presencia de expertos en logística [5]. En el año 2008 Haití fue sacudido por cuatro tormentas tropicales que causaron daños a las infraestructuras. Cuando tuvo lugar el terremoto del año 2010 numerosos periodistas que cubrían la noticia informaron que la ayuda que se estaba recaudando no estaba llegando correctamente a las víctimas, ya que las infraestructuras habían colapsado y toda la logística que se había planeado había quedado obsoleta. Esto puso al país en una situación crítica, ya que hubo más de 310.000 muertos y más de 1 millón de damnificados.

Cientos de millones de personas cada año se ven afectadas por los desastres (sin distinción entre desastres naturales y desastres provocados por la acción del hombre) y todos ellos con un factor en común, el sufrimiento de la población, que sin la movilización y puesta en marcha de programas de ayuda por parte de los distintos países sería mucho mayor. Las políticas globales en materia de reducción del riesgo de desastres naturales han puesto de manifiesto las responsabilidades y los roles de los individuos y la comunidad para afrontarlos. La mayoría de las muertes, lesiones y daños causados por los desastres pueden ser prevenidos de antemano.

Dependiendo de la capacidad de respuesta ante una emergencia que tenga un país las acciones se llevan a cabo por los gobiernos y por organizaciones no gubernamentales (ONG) [3]. El objetivo de una respuesta ante una emergencia es proveer de ayuda lo más rápido posible a aquellas áreas que se hayan visto afectadas para minimizar el sufrimiento humano y la pérdida de vidas. Por lo tanto, el diseño y la operación de la cadena de suministro juegan un rol importante para lograr una respuesta efectiva y eficiente.

Varios autores (Petrovic *et al.* [10]) han desarrollado métodos basados en algoritmos genéticos para solucionar distintos tipos de problemas de planificación de la cadena de reparto de ayuda en situaciones de emergencia. Sin embargo, dichos algoritmos han mostrado ser ineficientes cuando la cantidad de demandas aumenta. Otros autores se han

decantado, por su parte, por algoritmos basados en programación lineal entera [8].

El problema del reparto de ayuda en situaciones de emergencia es grande, y obtener una solución óptima es muy costoso computacionalmente. En este trabajo se han implementado técnicas metaheurísticas, como la búsqueda local, la búsqueda multiarranque y la Variable Neighbourhood Search, para proveer de soluciones de buena calidad en cortos periodos de tiempo.

## 2.1. Desastres naturales

El término desastre se asocia a un desajuste en el normal funcionamiento de una comunidad que ha sufrido daños que sobrepasan la capacidad de actuación de las autoridades. Esta situación puede ser el resultado de eventos de carácter natural (huracanes, terremotos,...) o de eventos provocados por el hombre (accidente de la central nuclear de Chernóbil).

Cada desastre es único; sus efectos no solo tienen que ver con su carácter (naturales o provocados por el hombre) sino también con las condiciones económicas, sanitarias y sociales del área a la que afecta. Sin embargo hay aspectos comunes, e identificarlos puede ayudar a mejorar la administración de la asistencia humanitaria y el uso de los recursos. Los siguientes aspectos deberían ser tenidos en cuenta:

- Hay una correlación entre el tipo de desastre y su impacto en la población; por ejemplo, los terremotos causan más traumas que demandan atención médica mientras que en las inundaciones no suele haber el mismo número de afectados.
- Alguno de los efectos de los desastres no tienen un impacto directo en la salud, pero pueden plantear una amenaza. La evacuación de la población y los cambios climáticos pueden incrementar el riesgo de propagación de enfermedades contagiosas.
- Los riesgos sanitarios reales y potenciales en las secuelas provocadas por un desastre casi nunca se materializan de forma simultánea, sino que tienden a golpear en momentos diferentes y varían su intensidad dentro del área afectada.
- Después de un desastre, las necesidades de la población de agua, ropa y atención médica primaria no suelen ser siempre totalmente necesarias, puesto que parte de la población puede satisfacer dichas necesidades por sí mismas. Por otra parte, es común que los afectados, una vez recuperados del shock inicial tras la catástrofe, ayuden y participen activamente en las labores de ayuda, como el almacenamiento y distribución de víveres.
- Las guerras y los conflictos civiles generan un particular escenario lleno de obstáculos, con cuestiones políticas, sociales, étnicas y geográficas difíciles de controlar.

La gestión eficaz de la ayuda humanitaria comienza por anticipar los problemas e identificar los que pueden surgir y proveer de la ayuda necesaria en el tiempo requerido donde sea necesario.

### 2.1.1. Efectos de los desastres

El impacto y la forma en que se desarrollan los desastres depende de las particularidades de la zona afectada. Los efectos en la población y en el entorno generan diferentes tipos de necesidades y requieren de distintos enfoques para conocerlas, por lo que es importante tener un conocimiento general de cuáles son.

Los desastres naturales normalmente causan daños en las infraestructuras, afectando a la salud de los sectores de población que dependen de los servicios que éstas proveen. En el caso de los hospitales y centros de salud que no soportan los efectos de una catástrofe se pone en peligro a los pacientes que se encuentran en ellos, limitando aún más la capacidad operativa de los servicios de emergencia. He aquí algunos datos de interés:

- En el terremoto que sacudió México en el año 1985 se colapsaron 13 hospitales. En tres de ellos fallecieron 866 personas (incluyendo al personal médico) perdiéndose unas 6.000 camas [2].
- En el año 1998, el huracán Mitch destruyó el sistema de suministro de agua de 23 hospitales en Honduras y se vieron afectados 123 centros de salud [1].
- Los daños causados por el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur acaecido en Perú entre 1997 y 1998 afectaron al menos al 10 % de los servicios de salud del país [6].

## 2.2. Logística de emergencias

Aunque la palabra logística fue aplicada originalmente al mundo militar para la obtención, mantenimiento y transporte de material y personal, ahora también se aplica al mundo civil. Generalmente se refiere a un sistema que interactúa para ayudar a conseguir un objetivo gracias a un uso optimizado de los recursos.

Algunas empresas disponen de un departamento de logística que coordina, a través de una secuencia de pasos, todos los aspectos relativos a la obtención, transporte, mantenimiento, gestión del stock y el flujo de bienes tangibles e intangibles.

En las operaciones de reparto de ayuda en situaciones de emergencia se necesita de la logística para apoyar a la organización y a la implementación de operaciones para lograr su desarrollo y puesta en práctica a tiempo y con eficiencia. Movilizar el staff, el equipamiento y los bienes de las organizaciones que prestan ayuda y la evacuación de las víctimas afectadas por el desastre requiere de un sistema de logística que maximice la efectividad.

### 2.2.1. Planificación de la logística

Las actividades logísticas tienen que ser debidamente planeadas y no improvisadas cuando ya a sucedido la catástrofe. La planificación es necesaria y práctica; de hecho, la logística debe ser un componente activo de cualquier plan de emergencia. La logística debe estar ligada a las demás actividades operacionales para responder ante una emergencia.

La planificación y la anticipación son vitales para una logística efectiva. El plan debe estar basado en un profundo conocimiento de las características geográficas, sociales, políticas y físicas del área donde se va a desarrollar. El plan debe dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué tareas deben llevarse a cabo? ¿Cómo se deben organizar y planificar?
- ¿Quién será el responsable de llevar a cabo esas tareas?
- ¿Quién será el encargado de supervisar el plan?
- ¿Qué recursos son necesarios? ¿Cómo, cuándo y dónde se pueden conseguir?
- ¿Hay algún plan alternativo en caso de que el principal falle?

### 2.2.2. Logística de la cadena de suministro

Las actividades que se encuadran dentro de la cadena de suministro no tienen por qué desarrollarse de manera secuencial o lineal; es más, normalmente suelen llevarse a cabo en paralelo. Las principales actividades son:

- **Obtención de recursos**  
Las organizaciones involucradas deben tener los recursos necesarios y tener identificadas las necesidades. Esto requiere identificar las fuentes de dichos recursos y servicios y la manera en que van a ser adquiridos.
- **Transporte**  
Es el medio por el cual la ayuda llega a donde es necesaria. Una estrategia de transporte no solo debe tener en cuenta los medios de transporte, sino las posibilidades de llevar la ayuda desde un punto a otro, así como las rutas alternativas.
- **Almacenamiento**  
Reunir y proteger la ayuda hasta que pueda ser distribuida a sus receptores. Es necesario tener en cuenta los depósitos de reserva para necesidades futuras.
- **Distribución**  
El objetivo de la cadena de suministro en situaciones de emergencia es proveer de ayuda a las víctimas de la catástrofe o a las organizaciones encargadas de su reparto para controlar su gestión y prevenir gastos innecesarios o abusos.

### 2.2.3. Análisis de las necesidades

La evaluación de las necesidades logísticas y de suministro es crucial para determinar con la mayor precisión posible:

- Las necesidades de la población tras un desastre
- La capacidad disponible y los recursos locales



- Las capacidades y recursos complementarios necesarios para la satisfacción de esas necesidades

Esto debe integrarse plenamente en el proceso de evaluación de las necesidades generales que se lleva a cabo en una zona de desastre para determinar el tipo, la gravedad del daño y las prioridades para intervenir.

Para evaluar las necesidades es necesario responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué es lo que se demanda?
  - ¿Cuáles son las necesidades de la población?
  - ¿Cuáles son las necesidades operacionales?
- ¿Cuál es la capacidad disponible?
  - ¿Cuál es la capacidad de la infraestructura local?
  - ¿De qué ayuda se dispone ya?

Es importante determinar no solo las necesidades de la población afectada, sino también las de las organizaciones que proveen de ayuda.

- ¿Qué es necesario?
- ¿En qué cantidad?
- ¿Cuándo se necesita? ¿Es urgente?
- ¿Dónde se necesita?

Por todo esto es necesario diseñar y crear un modelo para la distribución de ayuda humanitaria a las víctimas de una catástrofe que recoja todas las inquietudes que se han presentado y de respuesta a ellas en un tiempo razonable y con garantías.



## Capítulo 3

# Emergency $k$ -Location Routing Problem

En esta sección se presenta el problema denominado Emergency  $k$ -Location Routing Problem (EkLRP).

### 3.1. Introducción

El objetivo del Emergency  $k$ -Location Routing Problem (EkLRP) es proveer de ayuda humanitaria a una población que ha sufrido las consecuencias de una catástrofe. Tras una situación así se deben tomar las siguientes decisiones:

- Establecer una serie de puntos de reparto de ayuda humanitaria en el área afectada. Para ello, cada punto seleccionado contará con una flota de vehículos.
- Determinar la ruta de cada vehículo con el objetivo de suplir las necesidades de las víctimas.

En el EkLRP se tiene un conjunto de víctimas  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  distribuidas geográficamente en un área de dos dimensiones. Cada víctima  $c \in N$  requiere de un tiempo positivo para ser asistida,  $d_c > 0$ , y de una cierta cantidad de ayuda humanitaria,  $q_c > 0$ .

También se dispone en el área de unas localizaciones  $L = \{1, 2, \dots, m\}$  en donde se pueden situar los puntos de reparto de ayuda. Situar y poner en funcionamiento un punto de reparto de ayuda en una localización  $l \in L$  requiere de un tiempo positivo,  $t_l > 0$ , que se corresponde con mover la infraestructura necesaria para abrirlo y ponerlo en funcionamiento. El primer objetivo es seleccionar un subconjunto de esas localizaciones,  $L' \subseteq L$ , con  $|L'| = k$ , donde  $k$  es un parámetro del problema cuyo valor es seleccionado por el usuario.

El EkLRP se puede modelar mediante un grafo completo  $G = (H, A)$  con  $n+m$  vértices divididos en dos conjuntos,  $H = N \cup L$ . Cada vértice  $v \in H$  está localizado en un punto  $(x_v, y_v)$ . Los arcos  $a_{ij} \in A$ ,  $\forall i, j \in H$  representan la posibilidad de moverse entre los nodos

$i$  y  $j$  con un tiempo de viaje  $t_{ij} > 0$ . Mencionar que se considera que el tiempo de viaje para cada par de vértices es asimétrico.

Cada punto de reparto de ayuda,  $l \in L$ , dispone de una flota de vehículos  $V_l = \{1, 2, \dots, v_l\}$  donde cada vehículo  $v \in V_l$  tiene una capacidad positiva,  $Q_v > 0$ , para transportar la ayuda humanitaria. Los vehículos son usados para asistir a las víctimas de modo que el tiempo de espera de las víctimas sea el más pequeño posible. Por lo tanto, se persigue establecer una serie de rutas para cada punto,  $R_l$ . Cada ruta  $r$  es asignada a un vehículo  $v_r \in V_l$ , y dicha ruta comienza en un punto de reparto de ayuda  $\sigma_0^r \in L'$ , visita una secuencia de  $n_r$  víctimas,  $\sigma_1^r, \sigma_2^r, \dots, \sigma_{n_r}^r \in N$ , y regresa al mismo punto de reparto de ayuda,  $\sigma_{n_r+1}^r = \sigma_0^r$ . La cantidad de ayuda humanitaria que se ha repartido en una ruta  $r \in R_l$  es:

$$q(r) = \sum_{i=1}^{n_r} q_{\sigma_i^r} \leq Q_v.$$

La duración de la ruta  $r$  se denota como:

$$d(r) = t_{\sigma_0^r \sigma_1^r} + \sum_{i=1}^{n_r} (t_{\sigma_i^r \sigma_{i+1}^r} + d_{\sigma_i^r})$$

El tiempo de espera de una víctima  $\sigma_i^r$  que es atendida por un vehículo en una ruta  $r$  se computa como:

$$w(\sigma_i^r) = t_{\sigma_0^r} + t_{\sigma_0^r \sigma_1^r} + \sum_{j=1}^{i-1} (t_{\sigma_j^r \sigma_{j+1}^r} + d_{\sigma_j^r}).$$

El objetivo de optimización del EkLRP es minimizar el tiempo que se necesita para proveer de ayuda humanitaria a todas las víctimas. Este tiempo está formado por el tiempo necesario para establecer los  $k$  puntos de reparto de ayuda y distribuir la ayuda a todas las víctimas. Esto es,

$$\text{minimize} \sum_{l \in L'} \sum_{r \in R_l} \sum_{i=1}^{n_r} w(\sigma_i^r)$$

## 3.2. Soluciones

En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de un escenario de una situación de emergencia. Los rectángulos representan las posibles localizaciones ( $m = 7$ ) donde pueden ser situados los puntos de reparto de ayuda. Los círculos representan a las víctimas ( $n = 28$ ) que han sufrido el desastre y necesitan que se les provea de ayuda.

Supongamos que se establecen dos puntos de reparto de ayuda,  $k = 2$ , por lo que  $|L'| = 2$ . Además, supongamos que cada punto de reparto de ayuda dispone de dos vehículos. Una solución al problema se puede ver en la Figura 3.2.

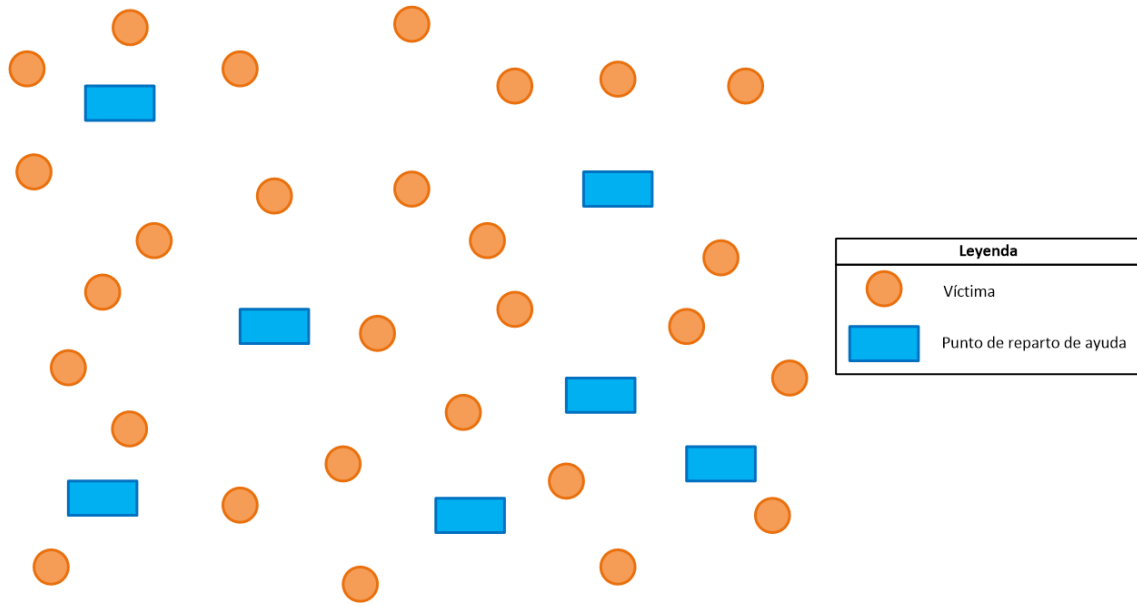


Figura 3.1: Situación de un área tras una catástrofe

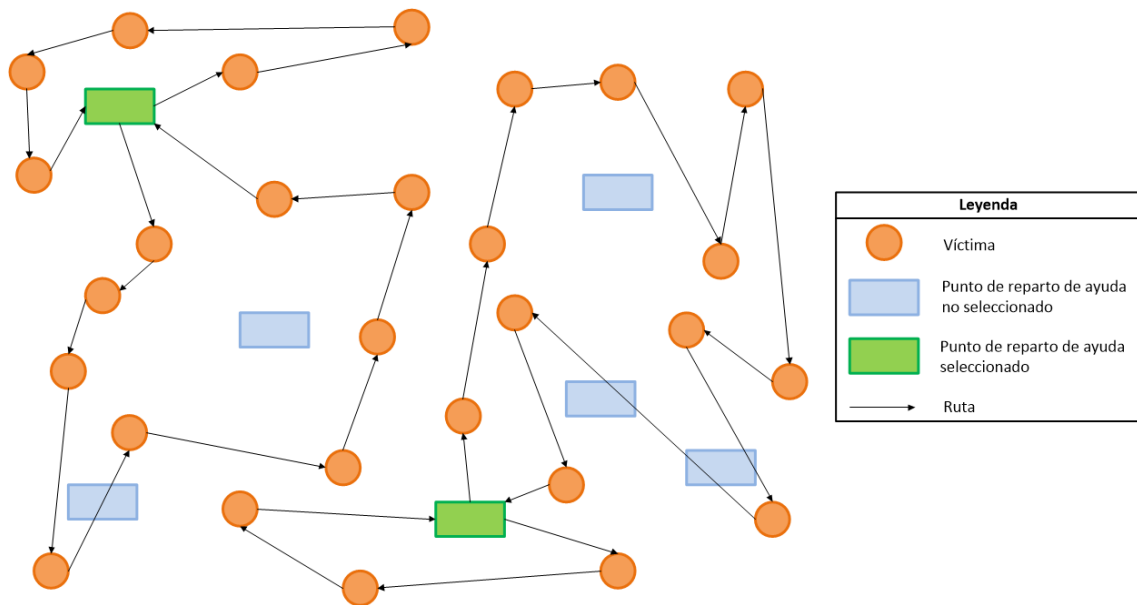


Figura 3.2: Ejemplo de solución para el Emergency  $k$ -Location Routing Problem



## Capítulo 4

# Sistema inteligente

En este capítulo se detalla cómo se ha implementado el Emergency  $k$ -Location Routing Problem  $E_k$ LRP.

### 4.1. Datos del problema

Los datos de entrada del  $E_k$ LRP son:

- Número de posibles localizaciones para establecer los puntos de reparto de ayuda
- Número de víctimas a las que hay que prestar ayuda
- Capacidad de los vehículos
- Tiempo necesario para establecer un punto de reparto de ayuda
- Tiempo necesario para asistir a una víctima
- Cantidad de ayuda demandada por cada víctima
- Distancia entre los puntos del área afectada

### 4.2. Implementación

#### 4.2.1. Generador de escenarios

Una vez seleccionados los datos de entrada del problema se ha diseñado un generador de escenarios para simular áreas devastadas. El usuario debe establecer siempre los siguientes parámetros:

- Número de posibles localizaciones para establecer los puntos de reparto de ayuda
- Número de víctimas a las que hay que prestar ayuda

Los demás parámetros son generados de forma aleatoria, siendo necesario establecer los límites inferior y superior del rango de valores entre los que variarán. Dichos parámetros son:

- Tiempo necesario para establecer un punto de reparto de ayuda
- Tiempo necesario para asistir a una víctima
- Cantidad de ayuda demandada por cada víctima
- Distancia entre los puntos del área afectada

La salida del generador es un escenario que se almacena en fichero de texto plano como el de la Figura 4.1. El fichero tiene la siguiente estructura:

Línea	Significado
1	Número de posibles localizaciones para situar un punto de reparto de ayuda
2	Número de víctimas
3	Capacidad de los vehículos
4	Coste de apertura de cada punto de reparto de ayuda
5	Cantidad de ayuda demandada por cada víctima
6	Tiempo de asistencia de cada víctima
7	Matriz de distancias entre los puntos del mapa

Tabla 4.1: Estructura del fichero de texto que representa un escenario

```

1      3
2      6
3      90
4      1 5 4
5      2 4 5 1 3 5
6      10 12 13 17 17 11
7      0 98 76 58 95 20 43 98 72
8      65 0 79 64 43 36 11 44 73
9      97 57 0 43 54 49 11 22 51
10     88 53 19 0 29 76 38 49 17
11     33 28 22 25 0 82 39 38 24
12     93 28 41 100 48 0 75 51 28
13     26 37 77 62 92 25 0 55 98
14     38 94 93 73 14 55 59 0 24
15     55 56 79 84 42 84 65 40 0

```

Figura 4.1: Fichero de ejemplo con un escenario



### Clase Reader

Para leer el fichero que contiene un escenario y posteriormente operar con él se implementa una clase `Reader`, con un único método `read`, al que se le pasa un fichero y devuelve un objeto de tipo `Problem`.

```

1      class Reader {
2          public Problem read(String file) {
3              // Lee un fichero file y devuelve un objeto de tipo
                Problem
4          }
5      }

```

Figura 4.2: Clase Reader

### Clase Problem

La clase `Problem` modela un escenario.

```

1      class Problem {
2          int    nInfrastructures_;
3          int    nVictims_;
4          int    vehicleCapacity_;
5          int    vCostLocations_ [];
6          int    vAidVictims_ [];
7          int    vDistance_ [] [];
8          int    ShortDistance_ [] [];
9      }

```

Figura 4.3: Clase Problem

- **nInfrastructures:** número de posibles localizaciones para situar un punto de reparto de ayuda
- **nVictims:** número de víctimas que se encuentran en el área devastada
- **vehicleCapacity:** capacidad de los vehículos que prestarán ayuda. Todos los vehículos tienen la misma capacidad.
- **vCostLocations:** vector que almacena el tiempo necesario para establecer los depósitos
- **vAidVictims:** vector que almacena la cantidad de ayuda que necesita cada víctima

- **vDistance**: matriz de distancias asimétricas entre los puntos del área devastada. La distancia entre un punto consigo mismo es 0.
- **ShortDistance**: matriz que almacena, para cada punto de reparto de ayuda y víctima, sus localizaciones más cercanas.

#### 4.2.2. Soluciones

Una solución del *EkLRP* consta de:

- Depósitos seleccionados
- Ruta de los vehículos de reparto de ayuda
- Valor de la solución

#### Clase Solution

La clase `Solution` (Figura 4.4) modela una solución al *EkLRP*.

```

1      class Solution {
2          Problem          Problem_ ;
3          int              Predecessors_ [];
4          int              Successors_ [];
5          int objectiveFunctionValue_ ;
6      }

```

Figura 4.4: Clase `Solution`

- **Problem**: el problema para el que es solución
- **Predecessors**: vector que almacena, para cada víctima, su predecesor
- **Successors**: vector que almacena, para cada víctima, su sucesor
- **objectiveFunctionValue**: valor objetivo de la solución

En los vectores `Predecessors` y `Successors` quedan almacenadas las rutas del problema. Para denotar que el predecesor o sucesor de una víctima es un punto de reparto de ayuda, éste se almacena con valor negativo.

Una vez las rutas han sido establecidas es necesario asignar el valor objetivo de la solución. Dicho valor es asignado por una clase `Evaluator`.

### Clase Evaluator

La clase `Evaluator` calcula, para un objeto `Solution`, el valor objetivo de éste. Dispone de un método `functionValue` al que se le pasa la solución y devuelve su valor objetivo. El método `functionValue` recorre todas las rutas generadas y calcula el valor objetivo, teniendo en cuenta las distancias entre cada punto de la ruta, el tiempo de asistencia de cada víctima y el coste de poner en funcionamiento los puntos de reparto de ayuda establecidos.

```

1      class Evaluator {
2          public int functionValue(Solution S) {
3              // Calcula el valor objetivo de la solución S y lo
                devuelve
4          }
5      }

```

Figura 4.5: Clase Evaluator

### Ejemplo de una solución

Una solución al problema generado de la Figura 4.1 puede ser la siguiente:

#### Datos

- Número de localizaciones escogidas: 2
- Número de vehículos por punto de reparto de ayuda: 2

#### Rutas

Listas / Víctimas	0	1	2	3	4	5
Predecesores	-1	-2	-1	1	-2	2
Sucesores	-1	3	5	-2	-2	-1

Tabla 4.2: Lista de Predecesores y Sucesores

Interpretando los vectores de `Predecesores` y `Sucesores` se sabe cuáles son las rutas a seguir para el reparto de ayuda humanitaria. Véase Tabla 4.3.

#### Valor

El valor objetivo de la solución vendrá dado por el coste de apertura de los puntos de reparto de ayuda seleccionados y el coste de cada una de las rutas generadas.

El coste de apertura de los puntos de reparto de ayuda puede verse en la Tabla 4.4.

Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4
Depósito -1	Depósito -1	Depósito -2	Depósito -2
Víctima 0	Víctima 2	Víctima 1	Víctima 4
Depósito -1	Víctima 5	Víctima 3	Depósito -2
	Depósito -1	Depósito -2	

Tabla 4.3: Rutas de la solución

Punto de reparto de ayuda	Coste
-1	1
-2	5
<b>Total</b>	<b>6</b>

Tabla 4.4: Coste de apertura de los puntos de reparto de ayuda

Ruta 1	Coste
Distancia entre el punto de reparto de ayuda -1 y la víctima 0	58
Tiempo de asistencia a la víctima 0	2
Distancia entre la víctima 0 y el punto de reparto de ayuda -1	88
<b>Total</b>	<b>148</b>

Tabla 4.5: Coste de la Ruta 1

Ruta 2	Coste
Distancia entre el punto de reparto de ayuda -1 y la víctima 2	20
Tiempo de asistencia a la víctima 2	5
Distancia entre la víctima 2 y la víctima 5	28
Tiempo de asistencia a la víctima 5	5
Distancia entre la víctima 0 y el punto de reparto de ayuda -1	55
<b>Total</b>	<b>113</b>

Tabla 4.6: Coste de la Ruta 2

Para cada una de las rutas es necesario tener en cuenta la distancia entre dos localizaciones del mapa así como el tiempo que necesita cada víctima para ser atendida. Véase Tablas 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8

El valor objetivo de la solución es:

$$6 + 148 + 113 + 124 + 141 = 532$$

Ruta 3	Coste
Distancia entre el punto de reparto de ayuda -2 y la víctima 1	43
Tiempo de asistencia a la víctima 1	4
Distancia entre la víctima 1 y la víctima 3	39
Tiempo de asistencia a la víctima 3	1
Distancia entre la víctima 3 y el punto de reparto de ayuda -2	37
<b>Total</b>	<b>124</b>

Tabla 4.7: Coste de la Ruta 3

Ruta 4	Coste
Distancia entre el punto de reparto de ayuda -2 y la víctima 4	44
Tiempo de asistencia a la víctima 4	3
Distancia entre la víctima 4 y el punto de reparto de ayuda -2	94
<b>Total</b>	<b>141</b>

Tabla 4.8: Coste de la Ruta 4

### 4.2.3. Algoritmos para generar soluciones iniciales

Una vez detallado el problema y cómo es una solución al mismo, y de la misma forma que era necesario un generador de problemas o escenarios, se aborda ahora el diseño de un generador de soluciones.

Para generar una solución, dado un problema, es necesario tomar las siguientes decisiones:

- Qué puntos de reparto de ayuda desplegar y poner en marcha
- Cómo establecer las rutas de los vehículos para prever de ayuda a las víctimas

#### Métodos para establecer puntos de reparto de ayuda

Las localizaciones donde es posible instalar un punto de reparto de ayuda se encuentran dispersas a lo largo del área devastada, y establecer un punto de reparto de ayuda en una localización tiene asociado un coste. A continuación se presentan dos métodos para establecerlos: método aleatorio y método basado en el coste de apertura y distancia.

**Método aleatorio.** No se tiene en cuenta el coste asociado a poner en marcha los puntos de reparto de ayuda. Véase Figura 4.6.

En la solución al problema propuesta (Figura 4.2) los puntos de reparto de ayuda -1 y -2 fueron escogidos aleatoriamente.

**Método basado en el coste de apertura y distancia.** Este método consiste en establecer, en primer lugar, el punto de reparto de ayuda de menor coste. Luego, para

```

1      Mientras (Queden puntos por establecer) hacer
2          Generar una posición aleatoria pos
3
4          Si el punto de reparto de ayuda pos no ha sido
5              establecido
6              Establecer el punto de reparto de ayuda pos
7          Fin Si
8      Fin Mientras

```

Figura 4.6: Pseudocódigo para establecer puntos de reparto de ayuda de manera aleatoria

cada punto de reparto de ayuda ya establecido, se escoge la localización más alejada a todos ellos y se pone en marcha. Este último paso se repetirá hasta que no queden puntos de reparto de ayuda por establecer. Véase Figura 4.7.

```

1      Establecer el punto de reparto de ayuda de menor coste
2
3      Mientras (Queden puntos por establecer) hacer
4          Para cada punto ya establecido hacer
5              Guardar la distancia al resto de localizaciones no
6                  establecidas
7          Fin para
8
9          Ordenar de mayor a menor distancia las localizaciones
10
11         Establecer el primer punto de reparto de ayuda de la
12             lista ordenada
13     Fin Mientras

```

Figura 4.7: Pseudocódigo para establecer puntos de reparto de ayuda en base al coste y a la distancia

### Métodos para asignar víctimas a rutas

En el área devastada se encuentran dispersas las diferentes víctimas a las que hay que prestar asistencia. Cuando se presta ayuda a una víctima hay que tener en cuenta dos factores: el tiempo o distancia necesaria para llegar hasta ella y el tiempo de servicio o asistencia asociado que se tarda en prestarle ayuda.

Cada punto de reparto de ayuda que se establece en el mapa dispone de una serie de vehículos que serán los encargados de repartir y distribuir la ayuda a las víctimas. Se han implementado tres métodos para establecer las rutas de dichos vehículos y asignar las víctimas a ellas: método aleatorio, método en base a la ruta más cercana o método en base al depósito más cercano.

**Método aleatorio.** Las víctimas son asignadas aleatoriamente a las rutas que parten de los puntos de reparto de ayuda.

```

1      Para cada una de las víctimas hacer
2          Establecer un número de ruta
3      Fin Para
4
5      Para cada número de ruta hacer
6          Buscar las víctimas de esa ruta
7          Generar el orden de la ruta aleatoriamente
8      Fin Para
    
```

Figura 4.8: Pseudocódigo para asignar víctimas a rutas de forma aleatoria

**Método en base a la ruta más cercana.** Las rutas se irán formando en base a las  $k$  víctimas más cercanas a ellas. Para cada ruta, se comprobarán las víctimas más cercanas a todos sus nodos y se añadirán las  $p$  víctimas más cercanas.

```

1      Mientras (Queden víctimas sin asignar) hacer
2          Escoger una ruta
3
4          Repetir p veces
5              Guardar las víctimas más cercanas a la ruta que no
6                  formen parte de una ruta
7
8              Ordenar las víctimas de menor a mayor distancia
9
10             Añadir a la ruta la víctima más cercana
11          Fin Repetir
12      Fin Mientras
    
```

Figura 4.9: Pseudocódigo para asignar víctimas a la ruta más cercana

**Método en base al depósito más cercano.** Para cada punto de reparto de ayuda se seleccionarán las  $p$  víctimas más cercanas a él. La víctima más cercana se añadirá al final de una de las rutas que parten de ese punto de reparto de ayuda. Véase Figura 4.10.

### Algoritmos para generar soluciones iniciales

Vistos en la sección 4.2.3 los distintos métodos para establecer los puntos de reparto de ayuda y en la sección 4.2.3 cómo asignar las rutas de los vehículos, surgen seis combinaciones posibles para generar soluciones iniciales a un problema. En la Tabla 4.9 se detallan los distintos algoritmos.

```

1      Mientras (Queden víctimas sin asignar) hacer
2          Escoger un punto de reparto de ayuda ya establecido
3
4          Repetir p veces
5              Ordenar las víctimas cercanas a él que no se
6                  encuentren en una ruta de menor a mayor distancia
7
8              Añadir la víctima más cercana a una de las rutas que
9                  parten desde el punto de reparto de ayuda
          Fin Repetir
      Fin Mientras

```

Figura 4.10: Pseudocódigo para asignar víctimas al depósito más cercano

	<b>Puntos de reparto de ayuda</b>	<b>Asignación de víctimas a rutas</b>
Algoritmo 1	Aleatorio	Aleatorio
Algoritmo 2	Aleatorio	Más cercanas a la ruta
Algoritmo 3	Aleatorio	Más cercanas al depósito
Algoritmo 4	Por coste y distancia	Aleatorio
Algoritmo 5	Por coste y distancia	Más cercanas a la ruta
Algoritmo 6	Por coste y distancia	Más cercanas al depósito

Tabla 4.9: Algoritmos para generar soluciones iniciales

#### 4.2.4. Operadores básicos

Al generar una solución del EkLRP se establecen las rutas que seguirán los vehículos para repartir la ayuda humanitaria entre las víctimas. Una vez generada una solución, puede resultar interesante hacer cambios en el orden en el que se visitan las víctimas, bien cambiándolas de ruta, cambiando su posición dentro de una ruta o ambas. Para ello se han desarrollado dos clases, **Swap** y **Reinsertion**.

##### Intercambio de víctimas

```

1      class Swap {
2          public Solution generate (Solution S, int i, int j) {
3              // Intercambiar la víctima i con la víctima j
4          }
5      }

```

Figura 4.11: Clase Swap

El método consiste en intercambiar dos víctimas  $i$  y  $j$ . La víctima  $i$  pasará a estar en



la posición donde estaba la víctima  $j$  y viceversa.

### Reinserción de víctimas

```

1     class Reinsertion {
2         public Solution generate (Solution S, int i, int j) {
3             // Inserta la víctima i delante de la víctima j
4         }
5     }

```

Figura 4.12: Clase Reinsertion

El método consiste en reinsertar una víctima  $i$  delante de la víctima  $j$ . Para proceder con la reinserción la víctima  $i$  no puede estar en una ruta donde solo se encuentre ella.

#### 4.2.5. Metaheurísticas

En este trabajo se han implementado tres metaheurísticas: la búsqueda local, la búsqueda multiarranque y la Variable Neighbourhood Search.

##### Búsqueda local

La búsqueda local se inicia con una solución inicial  $S$  a la que se le aplica una transformación de algún conjunto dado de transformaciones para mejorarla, convirtiéndose en una solución  $S'$ , hasta que ninguna transformación la mejore.

El procedimiento de la búsqueda local consta de los siguientes pasos:

1. **Inicialización**  
Generar una solución inicial  $S$  y calcular su valor objetivo
2. **Generación de soluciones vecinas**  
Elegir una solución vecina  $S'$  a  $S$ .
3. **Condición de verificación**  
Comprobar si la solución vecina generada  $S'$  mejora a la solución  $S$ .  
Si mejora, sustituir  $S$  por  $S'$ . Si no mejora,  $S$  se queda como mejor solución.
4. **Condición de finalización**  
Si con  $S'$  se ha obtenido una mejora, ir al punto 2. Si no se ha obtenido mejora, parar.

De los movimientos permitidos entre víctimas se han implementado cuatro variantes a la búsqueda local:

- Búsqueda local con el primer mejor intercambio

- Búsqueda local con el mejor intercambio
- Búsqueda local con la primera mejor reinserción
- Búsqueda local con la mejor reinserción

### Búsqueda multiarranque

En los métodos de la búsqueda multiarranque se alternan una fase de generación de soluciones con otra de mejora de las mismas. El proceso se repite hasta que se cumpla un criterio de parada. El esquema general de una búsqueda multiarranque puede verse en la Figura 4.13:

En la fase de Generación se usan los algoritmos de soluciones iniciales descritos en la sección 4.2.3 y en la fase de búsqueda se aplican las búsquedas locales descritas en la sección 4.2.5.

```

1      Hacer i = 1
2
3      Mientras (Condición de parada)
4          // Fase 1 - Generación
5          Construir una solución inicial
6
7          // Fase 2 - Búsqueda
8          Aplicar un método de búsqueda para mejorar la solución
          inicial
9
10         Si se mejora, actualizar la mejor solución
11
12         i = i + 1
13     Fin Mientras

```

Figura 4.13: Esquema general de la búsqueda multiarranque

### Variable Neighbourhood Search

Variable Neighbourhood Search [9] (VNS) es una metaheurística que consta de tres fases. Tras generar una solución inicial  $S$  se pasa a una fase de agitación o shaking (reinsertando  $k$  víctimas de manera aleatoria), generando una solución  $S'$ . A esta nueva solución se le aplica una búsqueda local con el primer mejor intercambio generando una nueva solución  $S''$ . A continuación se comprueba si la nueva solución  $S''$  mejora a la solución  $S'$ . Si es así, la solución inicial  $S$  se sustituye por ésta para continuar mejorándola, y si no se vuelve a comenzar. Esta serie de pasos se repite durante  $K\_MAX$  veces, donde  $K\_MAX$  es un parámetro que se debe establecer en base a algún criterio. La Figura 4.14 muestra el esquema del VNS implementado en este trabajo.

```

1      Generar una solución inicial S
2
3      Mientras (Condición de parada)
4          k = 1
5
6          Mientras (k <= K_MAX)
7              // Fase de agitación o shaking
8              S' = Reinsertar víctimas aleatorias k veces en la
                  solución S
9
10             // Búsqueda Local
11             S'' = Aplicar la BL Primer Mejor Intercambio a la
                  solución S'
12
13             // Mejora
14             Si la solución S'' mejora a la solución S'
15                 S = S''
16                 k = 1
17             Si no
18                 k = k + 1
19             Fin Si
20         Fin Mientras
21     Fin Mientras

```

Figura 4.14: Esquema general de la Variable Neighbourhood Search



## Capítulo 5

# Estudio computacional

En este capítulo se presenta un análisis computacional detallado del sistema inteligente propuesto en este trabajo.

La experiencia computacional de este trabajo se ha realizado con los recursos de computación de altas prestaciones del Servicio de Apoyo Informático a la Investigación (SAII) de la Universidad de La Laguna.

Las pruebas se han llevado a cabo en un clúster basado en arquitectura AMD Opteron 64 de ocho nodos, uno de gestión y siete de cómputo. Cada uno de ellos está equipado con dos microprocesadores AMD Opteron de doble núcleo, lo que hace un total de cuatro núcleos por nodo, y un total de veintiocho procesadores de cómputo.

### 5.1. Escenarios

Para esta experiencia computacional se han generado un conjunto de escenarios con distintas características, como el número de víctimas y el número de posibles localizaciones para situar los puntos de reparto de ayuda. En la Tabla 5.1 pueden verse las características con las que se han generado los escenarios.

Puntos de reparto de ayuda	Número de víctimas
5, 10, 25, 50	10, 25, 50, 100, 200, 500

Tabla 5.1: Características de los ficheros de escenarios generados

De la tabla anterior surgen 24 combinaciones posibles. De cada una de ellas se han generado 10 escenarios, siendo la muestra con la que se ha realizado este estudio de 240 escenarios distintos.

Los escenarios han sido generados con el generador aleatorio descrito en la sección 4.2.1. En la Tabla 5.2 se detallan los valores establecidos para cada uno de los datos de los escenarios.

Dato	Rango de valores
Número de localizaciones de puntos de reparto de ayuda	5, 10, 25, 50
Número de víctimas	10, 25, 50, 100, 200, 500
Capacidad de los vehículos	Entre 10 y 20
Tiempo para establecer un punto de reparto de ayuda	Entre 1 y 50
Tiempo de espera para asistir a una víctima	Entre 1 y 100
Cantidad de ayuda necesaria por víctima	Entre 1 y 100
Distancia entre puntos del escenario	Entre 1 y 100

Tabla 5.2: Rango de valores de los datos de los escenarios de prueba

### 5.1.1. Puntos de reparto de ayuda y vehículos

Ya generados los escenarios sobre los que se ejecutarán los distintos algoritmos, el siguiente cometido es:

- Establecer cuántos puntos de reparto de ayuda se deben poner en marcha
- Establecer cuántos vehículos por punto de reparto de ayuda habrá por cada depósito

En la Tabla 5.3 se detallan los valores que se han usado para la búsqueda multiarranque.

Puntos de reparto de ayuda $k$	Vehículos $v$
25 %	1, 2, 3
33 %	1. 2. 3

Tabla 5.3: Puntos de reparto de ayuda a establecer y número de vehículos para la búsqueda multiarranque

La Tabla 5.4 recoge los valores usados para la búsqueda VNS.

Puntos de reparto de ayuda $k$	Vehículos $v$	K_MAX
25 %	1, 2, 3	10 % del total de víctimas
33 %	1. 2. 3	10 % del total de víctimas

Tabla 5.4: Puntos de reparto de ayuda a establecer y número de vehículos para la Variable Neighbourhood Search

## 5.2. Análisis de técnicas para la generación de soluciones iniciales

En la Tabla 4.9 se describen los seis algoritmos de soluciones iniciales que han sido implementados en el sistema. Solo cuatro de ellos, el Algoritmo 1, Algoritmo 2, Algoritmo

3 y Algoritmo 4, han sido los seleccionados para realizar las pruebas, ya que los algoritmos 5 y 6 son algoritmos deterministas (para un escenario, siempre se genera la misma solución inicial).

Tanto el Algoritmo 2 como el Algoritmo 3 tienen un coeficiente  $p$  (descrito en la Sección 4.2.3). Para este estudio se ha establecido, para ambos algoritmos, el valor de  $p = 3$ .

Para la VNS, la solución inicial se obtiene con el algoritmo de soluciones iniciales que presente mejor rendimiento en términos de valor objetivo. Para ello se ha realizado un estudio previo considerando los datos de la Tabla 5.5. En este estudio se ha tenido en cuenta únicamente la calidad de las soluciones en términos de valor objetivo y no en tiempos de cómputo.

Puntos de reparto de ayuda $k$	Vehículos $v$
25 %	1, 2, 3
33 %	1, 2, 3

Tabla 5.5: Datos usados para el estudio del mejor algoritmo para generar soluciones iniciales

Para cada algoritmo se realizaron 10 ejecuciones por instancia, calculando los valores máximos, mínimos y medios de los valores objetivo resultantes.

En la Figura 5.1 puede verse la evolución del valor de la solución por algoritmo y por número de vehículos usados. Los datos completos pueden verse en el Anexo II.

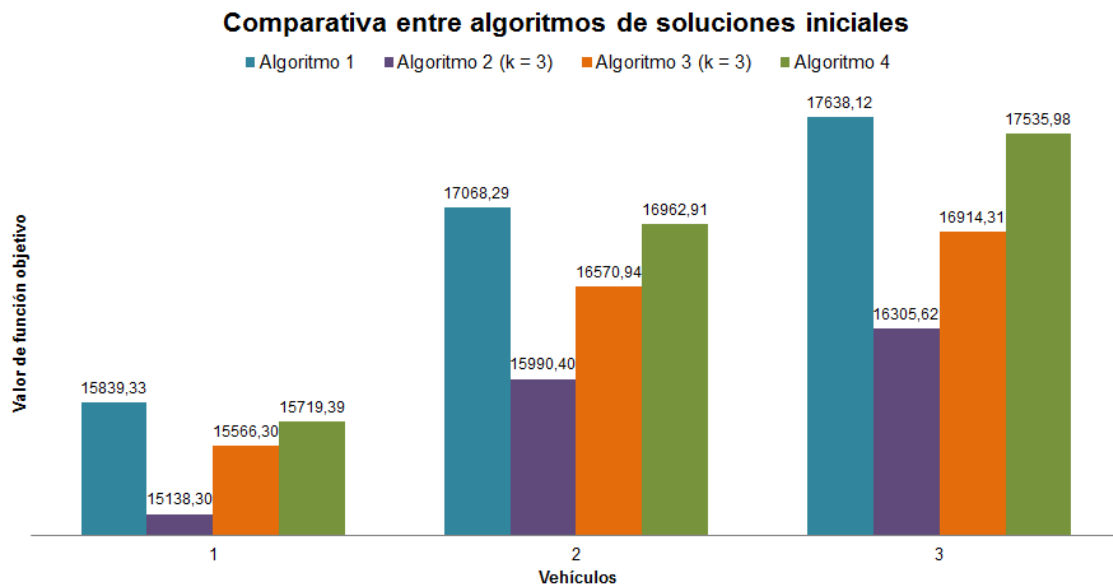


Figura 5.1: Gráfica comparativa de algoritmos para generar soluciones iniciales

Atendiendo al valor objetivo, el mejor algoritmo de soluciones iniciales es el Algoritmo

2.

### 5.3. Análisis de metaheurísticas implementadas

A continuación se detallan los resultados (en valor objetivo y en tiempo de cómputo) de las metaheurísticas implementadas.

En todas las pruebas realizadas con las búsquedas locales se ha establecido que cada víctima será intercambiada o reinsertada con sus 5 víctimas más cercanas.

#### 5.3.1. Búsqueda multiarranque

En la fase de generación de soluciones de la búsqueda multiarranque se han aplicado los cuatro algoritmos de soluciones iniciales seleccionados. Se estableció  $p = 3$  para los algoritmos 2 y 3. Para la fase de mejora de dichas soluciones se han aplicado las cuatro heurísticas: primer mejor intercambio, mejor intercambio, primera mejor reinsertación y mejor reinsertación.

Para cada instancia se ejecutó la búsqueda multiarranque con 10 iteraciones y cada instancia fue ejecutada 10 veces.

Los resultados promedio en cuanto a valor objetivo y tiempo de los distintos algoritmos de soluciones iniciales pueden consultarse a continuación. Los datos completos pueden ser consultados en el Anexo II.

En las Figuras 5.2, 5.4, 5.6 y 5.8 se observa que el valor objetivo entre la búsqueda local el primer mejor intercambio y el mejor intercambio y entre la primera mejor reinsertación y la mejor reinsertación tiene un comportamiento similar en todos los casos. En cuanto al tiempo de cómputo se refiere (ver Figuras 5.3, 5.5, 5.7 y 5.9), las búsquedas locales el primer mejor intercambio y la primera mejor reinsertación son más rápidas que las búsquedas locales el mejor intercambio y la mejor reinsertación.

Para todos los algoritmos se puede apreciar que la estructura de entorno basada en la reinsertación de víctimas es la que provee mejores resultados en términos de valor objetivo. En términos de tiempo computacional, la estructura de entorno más competitiva es el intercambio.

#### 5.3.2. Variable Neighbourhood Search

En la búsqueda VNS la solución inicial es calculada con el mejor algoritmo de soluciones iniciales, el Algoritmo 2 con  $p = 3$ . En la fase de agitación o shaking se reinsertan las víctimas de manera aleatoria y luego se aplica la búsqueda local el primer mejor intercambio.

Para cada instancia se ejecutó la búsqueda VNS 10 veces.

Los resultados promedio en cuanto a valor objetivo y tiempo pueden consultarse a continuación. Los datos completos pueden ser consultados en el Anexo II.



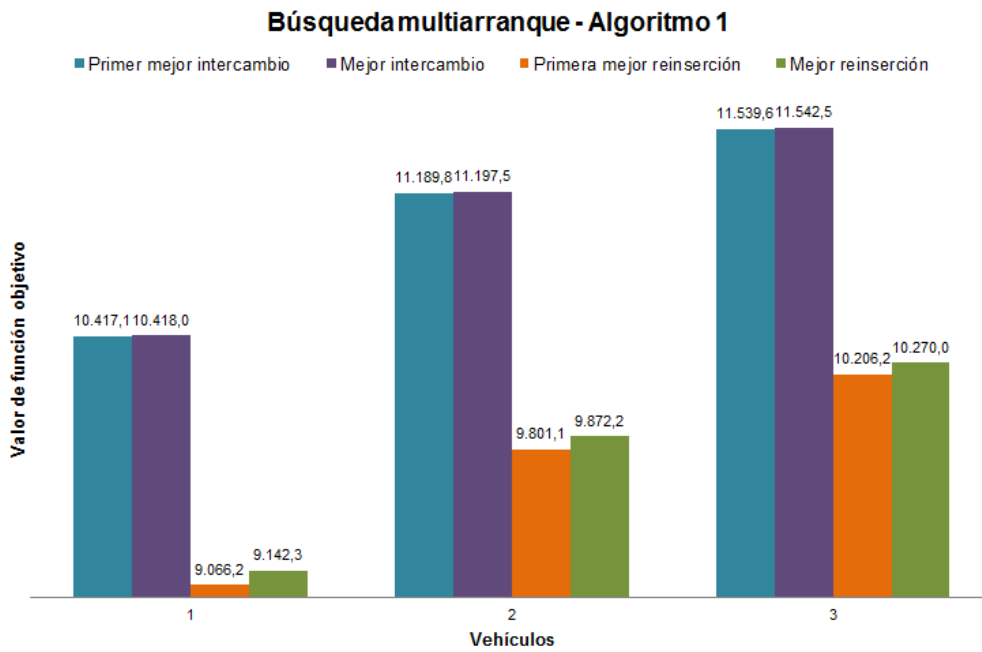


Figura 5.2: Valor objetivo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 1

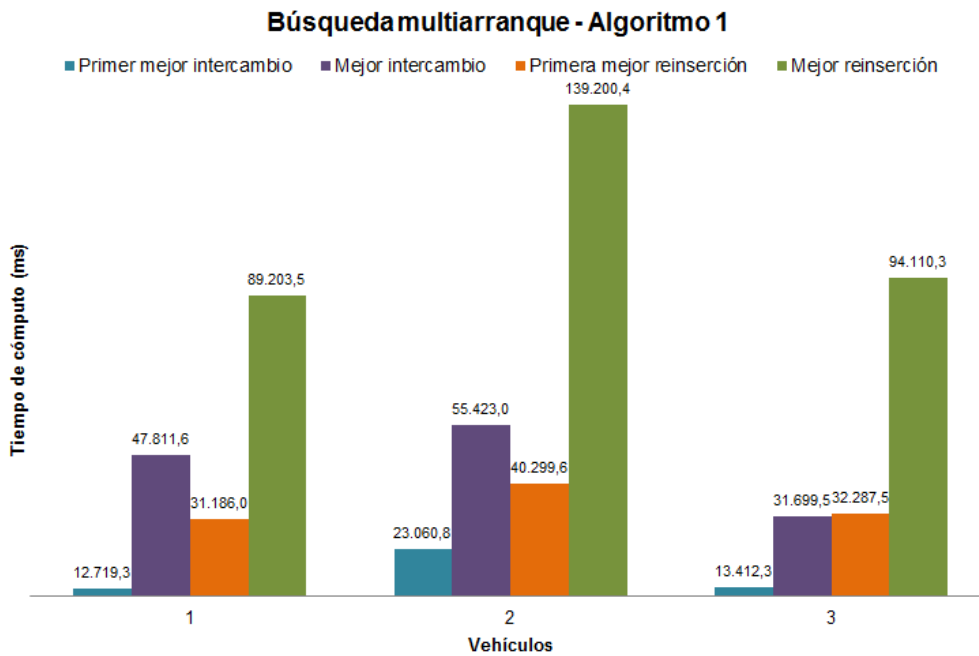


Figura 5.3: Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 1

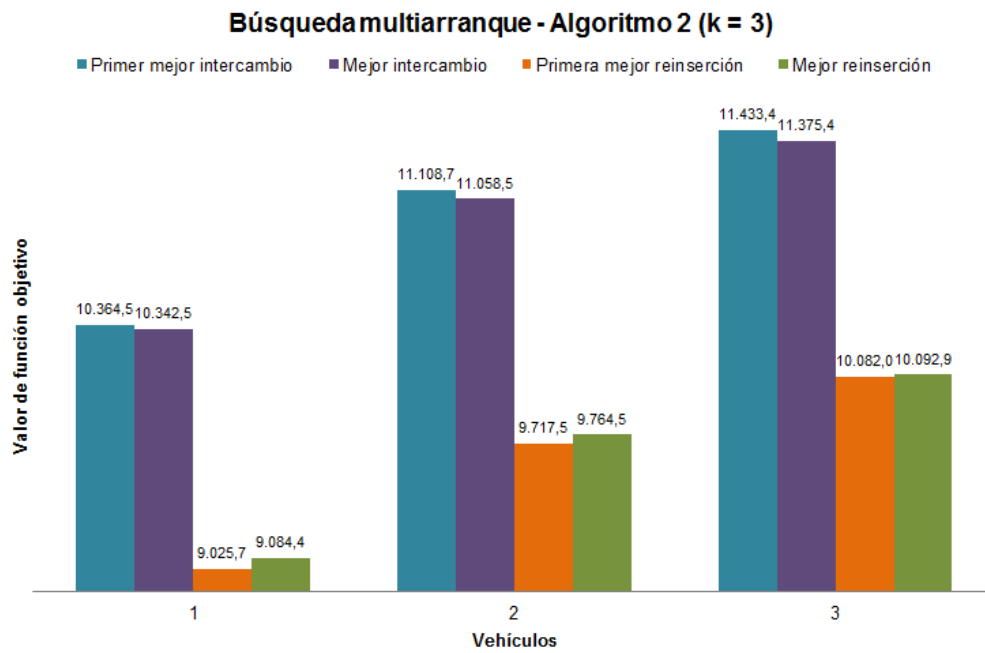


Figura 5.4: Valor objetivo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 2

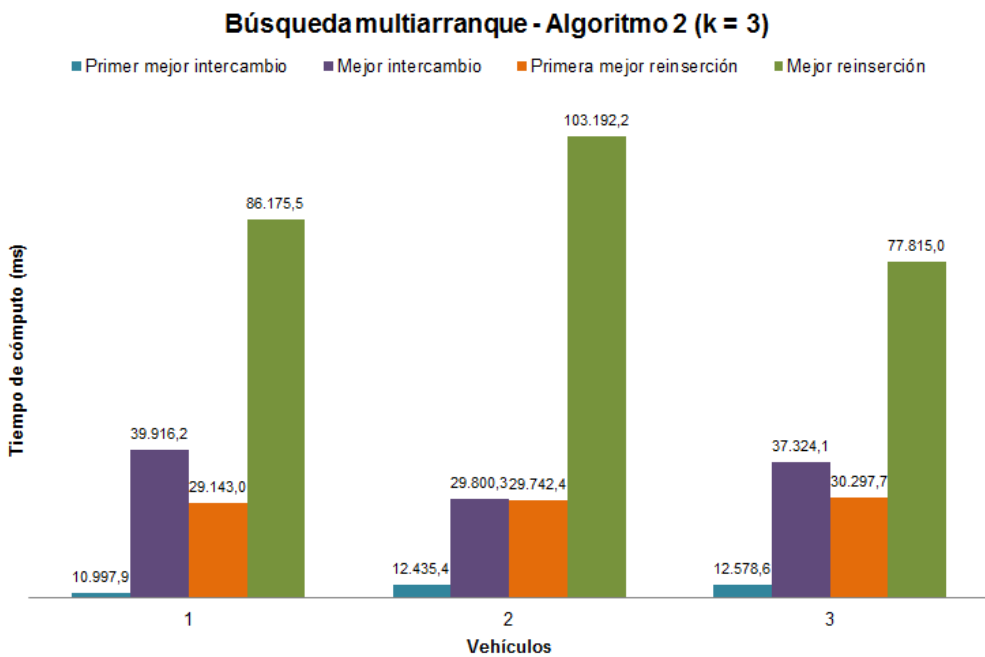


Figura 5.5: Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 2

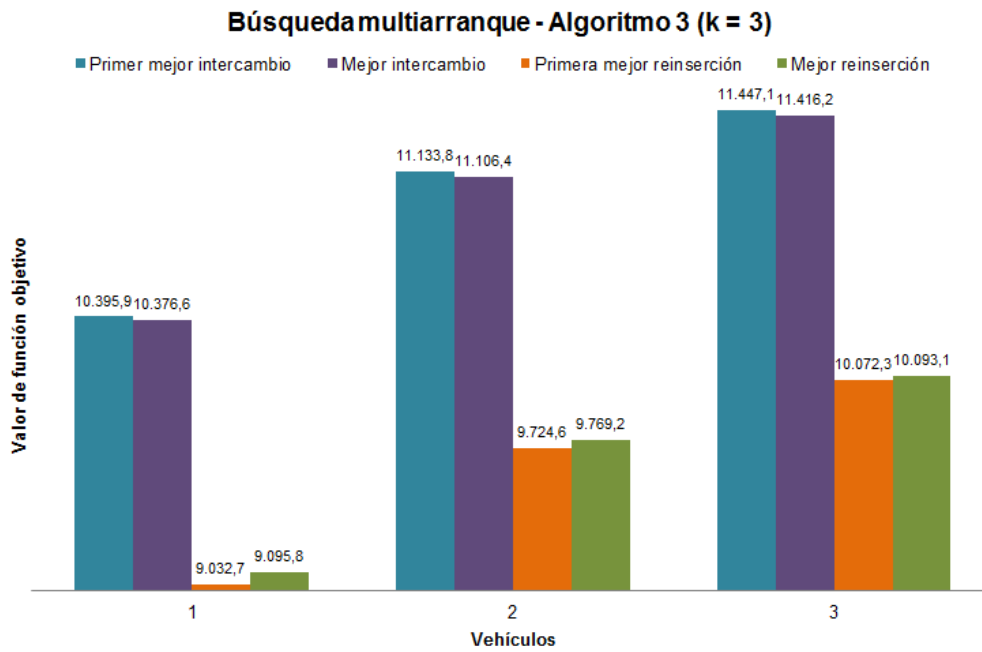


Figura 5.6: Valor objetivo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 3

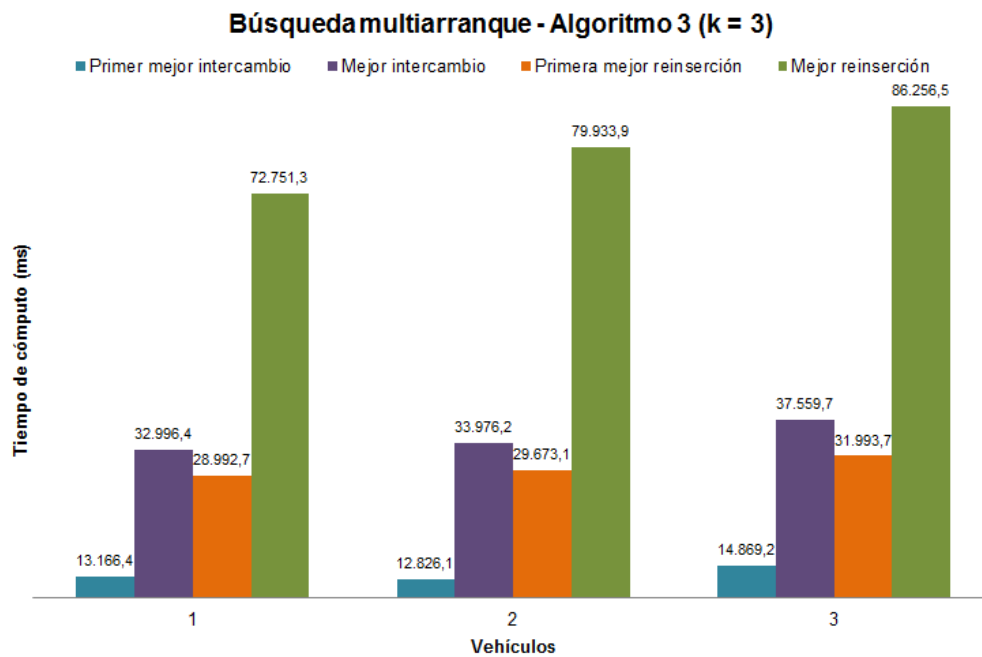


Figura 5.7: Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 3

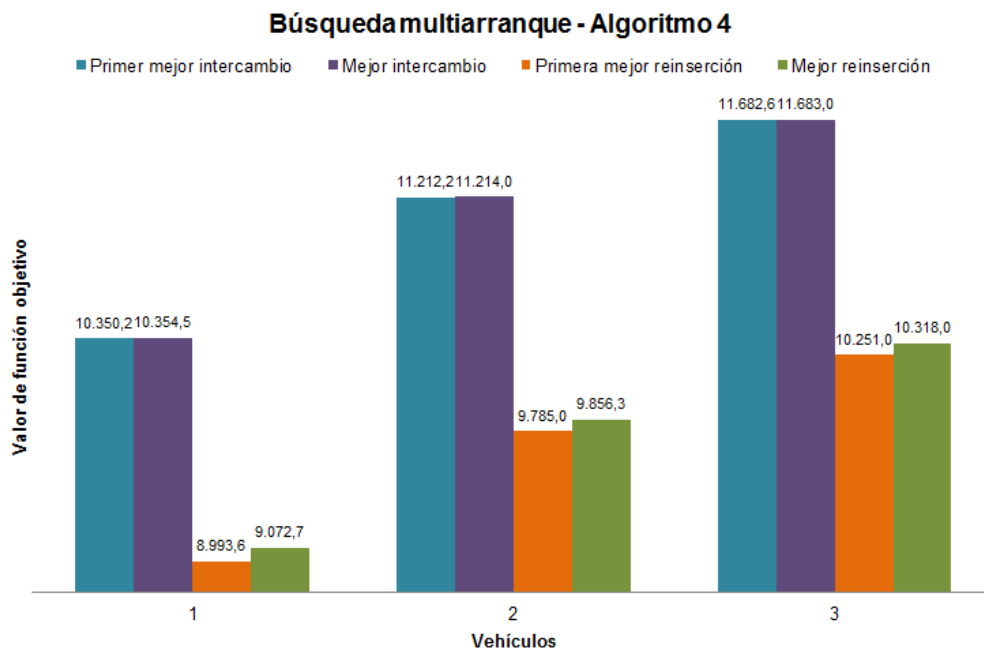


Figura 5.8: Valor objetivo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 4

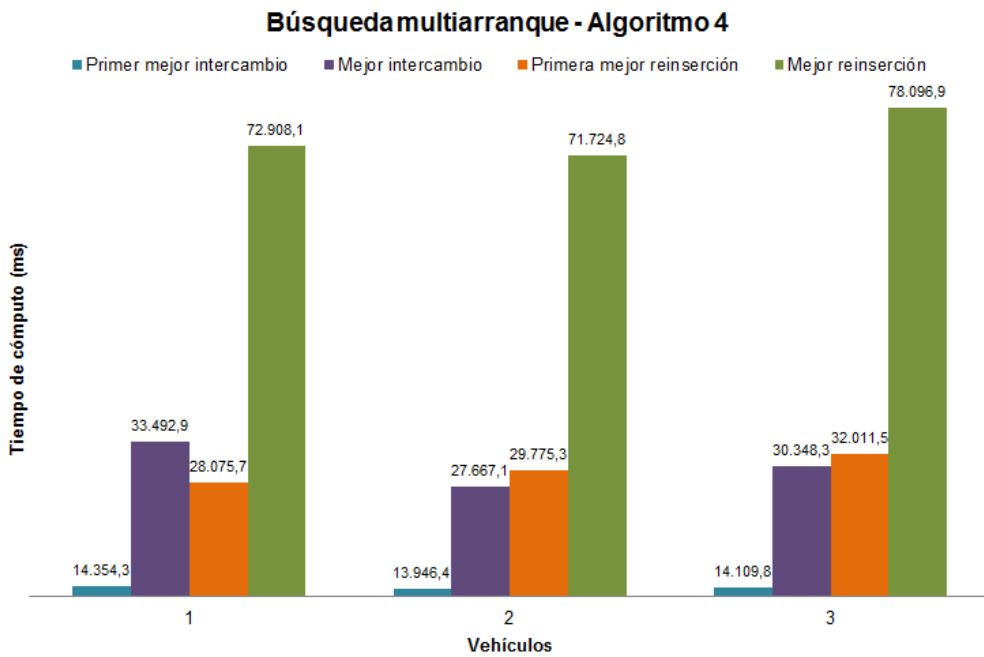


Figura 5.9: Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda multiarranque con el Algoritmo 4

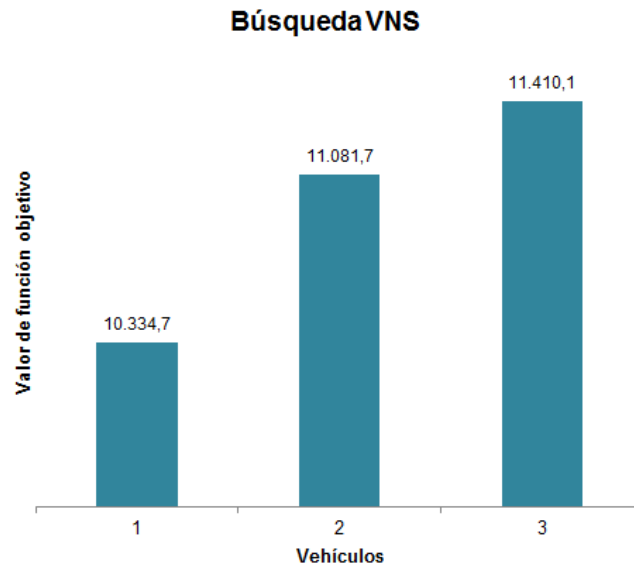


Figura 5.10: Valor objetivo promedio para la búsqueda Variable Neighbourhood Search

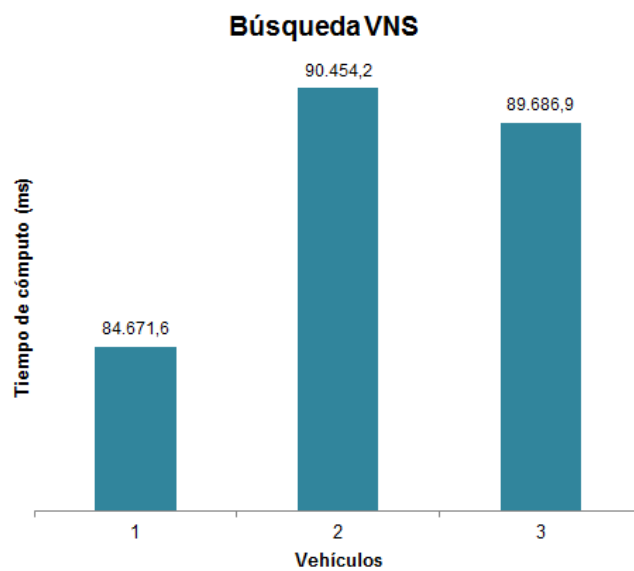


Figura 5.11: Tiempo de cómputo promedio para la búsqueda Variable Neighbourhood Search

### 5.3.3. Comparativa entre las metaheurísticas

Para determinar la metaheurística que provee mejores resultados se ha realizado un estudio computacional entre la mejor búsqueda multiarranque y la búsqueda VNS. La mejor búsqueda multiarranque es la que tiene al Algoritmo 2 como algoritmo de soluciones iniciales.

En las Figura 5.12 y 5.13 puede verse que la búsqueda multiarranque provee de mejores resultados en términos de valor objetivo y tiempo computacional que la búsqueda VNS.

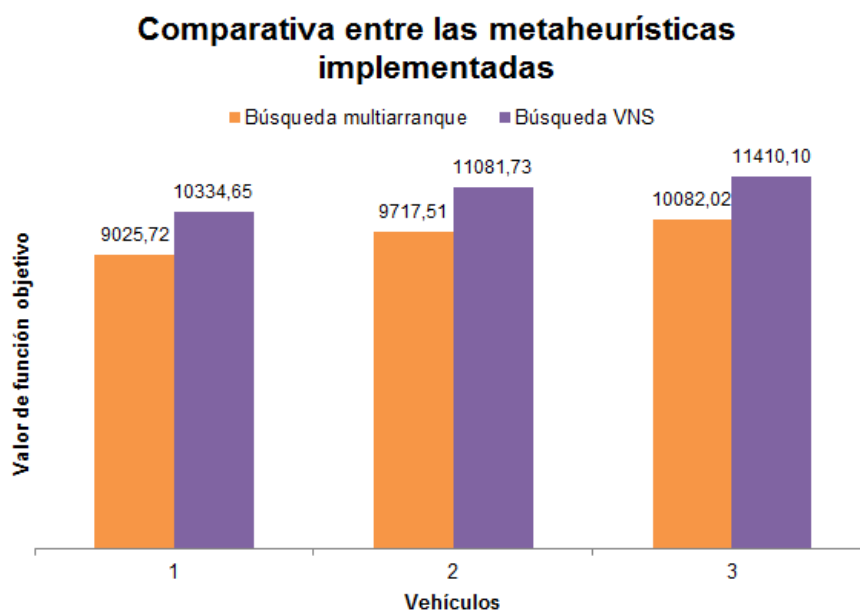


Figura 5.12: Comparativa del valor objetivo promedio de la búsqueda multiarranque y la VNS

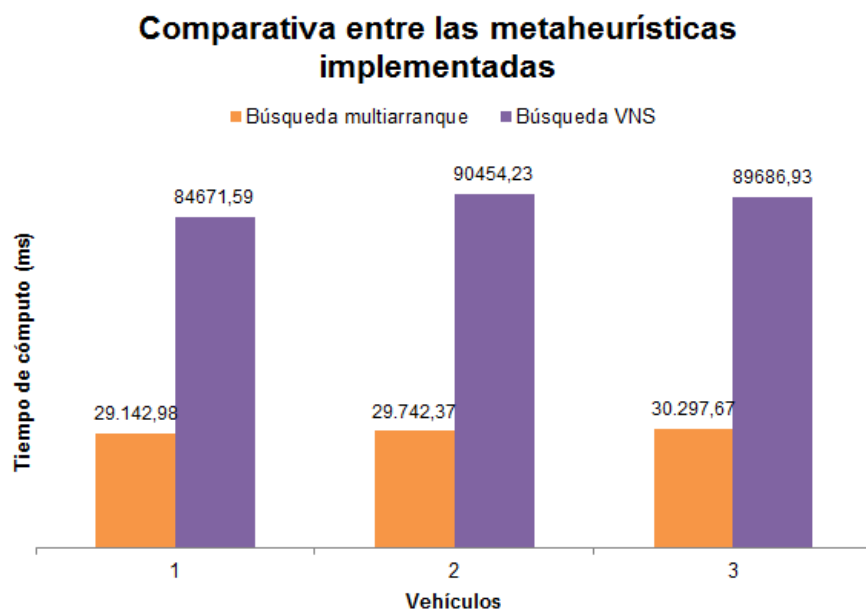


Figura 5.13: Comparativa del tiempo de cómputo promedio de la búsqueda multiarranque y la VNS





## Capítulo 6

# Conclusiones y líneas de trabajo futuras

En este trabajo de fin de grado se propone el problema Emergency  $k$ -Location Routing Problem (EkLRP) y se propone un sistema inteligente basado en metaheurísticas para su resolución.

El problema de la planificación de la cadena de suministro en situaciones de emergencia es complejo, como se aprecia en la literatura relacionada, debido a la gran cantidad de factores, como el transporte y la puesta en marcha de las infraestructuras, la obtención y el almacenamiento de la ayuda, así como su distribución de manera eficiente. Este trabajo es una sólida aproximación al problema de las emergencias donde se minimiza el tiempo que se requiere para proveer de ayuda humanitaria a todas las víctimas.

El estudio realizado ha puesto de manifiesto que la primera mejor reinsertión es la heurística que, para los cuatro algoritmos de soluciones iniciales y aplicando la búsqueda multiarreglo, mejor valor objetivo genera pese a no ser la más rápida en tiempo de cómputo. El beneficio de tener un sistema inteligente que provee de buenos resultados en términos de valor objetivo y en tiempo de cómputo es que asegura disponer de un sistema que tiene en cuenta los factores que en una situación de emergencia deben ser considerados y donde una respuesta rápida y eficaz es muy importante.

Como trabajo futuro se considerarán restricciones como la capacidad limitada de los vehículos que reparten ayuda y la capacidad de almacenamiento de los puntos de reparto de ayuda, entre otras.



## Capítulo 7

# Conclusions and future work

In this work is proposed the Emergency  $k$ -Location Routing Problem ( $Ek$ LRP) and an intelligent system based on metaheuristics for solving it.

The plannification problem in the supply chain in emergency situations is complex, as shown in the related literature, due to the large number of factors, such as transportation, setting up the infrastructures and storage and distribution of aid. This work is a solid approach to the emergency problem where the time is minimized in order to provide humanitarian assistance to all victims.

The study has revealed that the first best reinsertion is the heuristic that, for all the four algorithms of initial solutions and applying the multistart search, best objective value provides despite not being the fastest one in computation time. The benefit of having an intelligent system that provides good results in terms of objective value and computation time is to assure a system that takes into account the factors that in an emergency situation must be considered and where a quick response is very important.

In future research, limited capacity constraints of vehicles that distribute aid and storage capacity of aid delivery points will be considered among others.



# Apéndice A

## Notación del $EkLRP$

### A.1. Notación

$N$  Conjunto de víctimas

$n$  Número de víctimas

$d_c$  Tiempo para asistir a una víctima  $c \in N$

$q_c$  Cantidad de ayuda humanitaria demandada por la víctima  $c \in N$

$L$  Conjunto de posibles localizaciones

$m$  Número de posibles localizaciones

$L'$  Conjunto de localizaciones escogidas

$k$  Número de puntos de reparto de ayuda a poner en marcha

$t_l$  Tiempo requerido para desplegar un punto de reparto de ayuda en una localización  $l \in L'$

$G$  Grafo cuyos vértices son el conjunto de víctimas y las posibles localizaciones y cuyos arcos representan el tiempo para desplazarse entre los vértices

$H$  Conjunto de vértices del grafo  $G$

$A$  Conjunto de aristas del grafo  $G$

$a_{ij}$  Arco del grafo  $G$  entre los vértices  $i$  y  $j$ , donde  $i, j \in H$

$x_i$  Coordenada X del vértice  $i \in H$

$y_i$  Coordenada Y del vértice  $i \in H$

$t_{ij}$  Tiempo requerido para desplazarse entre los vértices  $i$  y  $j$ , donde  $i, j \in H$

- $V_l$  Flota de vehículos de reparto de ayuda en la infraestructura  $l \in L'$
- $v_l$  Número de vehículos de reparto de ayuda en la infraestructura  $l \in L'$
- $Q_v$  Capacidad de carga del vehículo de reparto de ayuda  $v$
- $R_l$  Conjunto de rutas de los vehículos de reparto de ayuda en la infraestructura  $l \in L'$
- $\sigma_i^r$   $i$ -ésimo vértice visitado por el vehículo de reparto de ayuda asociado a la ruta  $r$
- $v_r$  Vehículo médico usado en la ruta  $r$
- $n_r$  Número de víctimas visitadas por la ruta  $r$
- $q(r)$  Cantidad de ayuda humanitaria usada en la ruta  $r$
- $d(r)$  Duración de la ruta  $r$
- $w(c)$  Tiempo de espera de la víctima  $c$

# Apéndice B

## Tablas de resultados

### B.1. Algoritmos de soluciones iniciales

Algoritmos de soluciones iniciales													
k	n	Algoritmo 1 Valor objetivo			Algoritmo 2 Valor objetivo			Algoritmo 3 Valor objetivo			Algoritmo 4 Valor objetivo		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1532	734	1073	1322	670	962	1480	714	1008	1330	637	1036
	25	3081	2256	2626	2908	2258	2562	2997	2329	2589	3015	2213	2624
	50	5675	4346	4930	5479	4194	4754	5699	4605	5000	5588	4287	4961
	100	11023	9177	9921	10359	8527	9384	10741	8838	9879	10902	9172	9917
	200	21619	19257	20304	20382	18696	19445	21622	19464	20314	21545	19004	20164
	500	53028	49213	50126	50545	47185	48262	51672	48772	49918	52496	48755	50103
2	10	1390	822	1137	1279	779	1022	1417	792	1077	1328	856	1108
	25	3037	2246	2580	2831	1917	2376	2931	2099	2501	3023	2164	2558
	50	6060	4732	5297	5651	4464	5053	5853	4691	5183	5779	4468	5190
	100	11251	9532	10195	10882	9102	9678	10981	9186	10100	11023	9342	10170
	200	21820	19365	20274	21322	18390	19571	21797	18963	20116	21809	18916	20230
	500	52994	48796	50484	51043	47181	48665	52698	48284	50382	53538	49084	50502
6	10	1799	1024	1447	1454	805	1180	1489	866	1208	1637	987	1335
	25	3711	2360	2962	3245	2121	2611	3138	2206	2679	3313	2289	2816
	50	6115	5028	5454	5619	4498	4964	5689	4660	5119	5827	4720	5298
	100	11487	9957	10567	10856	9227	9987	11034	9668	10278	11147	9768	10433
	200	22455	19298	20403	21884	18615	19639	22183	19000	20135	22294	19357	20285
	500	52987	49075	50705	51856	46942	49202	53380	49054	50432	53354	49111	50571
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4066	2744	3362	3583	2127	2753	3497	2251	2834	3638	2660	3062
	50	6801	5100	6015	5995	4391	5300	6021	4679	5440	6573	5086	5774
	100	12462	10309	11060	11494	9567	10296	11572	9697	10511	12100	9855	10754
	200	22573	18839	21101	21885	18214	20148	22304	18432	20470	22963	19052	20888
	500	53815	49285	51110	52816	48183	49570	53103	48657	50424	53242	49004	50844
avg	16990,48	14934,57	15788,39	16290,87	14263,17	15103,65	16665,13	14691,61	15547,70	16846,26	14816,83	15679,26	

Tabla B.1: Algoritmos para generar soluciones iniciales - 25% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo

Algoritmos de soluciones iniciales													
k	n	Algoritmo 1 Valor objetivo			Algoritmo 2 Valor objetivo			Algoritmo 3 Valor objetivo			Algoritmo 4 Valor objetivo		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1509	687	1123	1296	713	1004	1341	680	1001	1515	613	1101
	25	3157	2186	2678	2852	2027	2495	3001	2164	2559	3071	2171	2659
	50	5659	4174	5015	5134	4233	4653	5627	4539	4945	5838	4357	5034
	100	11109	9290	9914	10312	8413	9308	10739	9116	9879	11072	8823	9871
	200	21766	19476	20291	20619	18237	19230	21463	19567	20353	22024	19135	20305
	500	52400	48340	50071	49639	46713	47649	52404	49243	50071	52257	48111	50022
2	10	1550	802	1215	1428	895	1079	1366	873	1089	1450	865	1200
	25	3227	2146	2695	2827	2094	2415	2971	2168	2500	3310	2300	2674
	50	5956	4807	5382	5562	4546	4950	5863	4631	5170	6022	4736	5307
	100	11457	9151	10269	10962	8753	9594	10974	9265	10052	11048	9232	10172
	200	21857	18959	20285	20785	18007	19342	21671	18946	20114	21985	19103	20332
	500	53416	49211	50505	51301	46483	48316	53060	48886	50291	53679	49178	50714
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3846	2656	3265	3214	2106	2659	3328	2098	2749	3770	2589	3150
	50	6318	5194	5728	5689	4501	5004	5799	4666	5160	6515	4804	5620
	100	12117	10315	10868	10700	9186	9975	11179	9658	10300	11694	9917	10808
	200	22655	19547	20692	21740	18207	19543	22139	19160	20218	22937	19545	20594
	500	53654	49293	51035	51496	46881	48883	52997	48638	50374	53727	48831	50852
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4631	3344	3986	3995	2460	3107	3674	2610	3109	4190	3280	3654
	50	7490	5998	6600	6324	4859	5396	6342	4833	5555	7183	5791	6410
	100	12681	10758	11684	11337	9625	10297	11355	9774	10564	12352	10446	11397
	200	23620	19662	21750	21612	17772	19998	22174	18387	20503	23078	19504	21461
	500	54433	49841	51639	53117	47735	49386	53062	48702	50471	54759	49880	51400
avg	17932,18	15719,86	16667,73	16906,41	14747,55	15649,23	17387,68	15391,09	16228,50	17885,27	15600,50	16578,95	

Tabla B.2: Algoritmos para generar soluciones iniciales - 25% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos



Algoritmos de soluciones iniciales													
k	n	Algoritmo 1 Valor objetivo			Algoritmo 2 Valor objetivo			Algoritmo 3 Valor objetivo			Algoritmo 4 Valor objetivo		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1590	858	1174	1448	689	1044	1382	762	1077	1509	692	1140
	25	3131	2315	2729	2741	2003	2470	2933	2281	2628	3111	2274	2715
	50	5760	4513	5052	5431	4034	4652	5692	4456	4930	5887	4431	5060
	100	10981	9063	9949	10678	8440	9326	10829	8689	9737	11151	8848	9990
	200	21643	18858	20403	20338	17827	19087	21650	19321	20247	21729	19122	20296
	500	52259	48735	50093	50167	45761	47637	52106	48932	49908	52196	48184	50129
2	10	1651	954	1331	1478	833	1159	1455	779	1156	1674	1023	1284
	25	3239	2445	2808	2784	1940	2386	2968	2127	2521	3329	2316	2762
	50	6074	4976	5502	5744	4414	4887	5856	4641	5197	6122	4691	5428
	100	11618	9548	10367	10562	8762	9520	11258	9246	9996	11596	9418	10312
	200	21798	19081	20366	20585	17781	19191	21901	18808	20099	22104	18993	20333
	500	53251	49150	50671	50447	45794	48069	52835	48886	50443	53434	48955	50730
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4208	2985	3560	3369	2239	2821	3472	2250	2867	4036	3025	3441
	50	6696	5391	6010	5610	4439	5023	5810	4574	5251	6603	5405	5857
	100	12338	10562	11208	10884	9406	9939	11033	9720	10273	12020	10247	11041
	200	23511	19955	21072	21671	18437	19481	22425	19182	20218	22595	19591	20851
	500	54250	49628	51305	51539	47071	48773	52990	48295	50345	53747	49691	51102
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	8322	6340	7184	6477	4880	5603	6325	4819	5649	7766	6260	7040
	100	13458	11321	12251	11279	9460	10364	11924	9832	10576	13017	11149	12065
	200	24238	19662	22262	21880	18209	20072	22579	18485	20559	23735	19791	21977
	500	55689	50431	52333	52386	48274	49549	53221	49097	50623	54527	49889	52189
avg	18843,10	16512,90	17506,19	17499,90	15271,10	16240,62	18125,90	15961,05	16871,43	18661,33	16380,71	17416,29	

Tabla B.3: Algoritmos para generar soluciones iniciales - 25% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos

Algoritmos de soluciones iniciales													
k	n	Algoritmo 1 Valor objetivo			Algoritmo 2 Valor objetivo			Algoritmo 3 Valor objetivo			Algoritmo 4 Valor objetivo		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1428	724	1060	1322	670	965	1480	714	1020	1427	676	1051
	25	3067	2005	2642	2908	2258	2552	2997	2216	2587	3108	2148	2639
	50	5839	4443	4963	5321	4194	4718	5699	4539	4993	5870	4497	4976
	100	10905	9080	9877	10359	8527	9477	10723	8838	9862	10856	8921	9869
	200	21622	18914	20193	20510	18696	19460	21622	19464	20336	21745	19064	20283
	500	51931	48409	49982	50545	47185	48384	51672	48772	49946	52594	49053	50037
3	10	1500	918	1212	1270	814	1076	1388	728	1093	1380	983	1145
	25	3191	2214	2641	2849	2045	2397	2927	2189	2542	3153	2220	2601
	50	5887	4807	5372	5714	4482	5043	5886	4715	5228	5933	4524	5271
	100	11292	9288	10200	10642	8865	9757	11006	9426	10088	11255	9426	10198
	200	22210	19216	20244	20935	18709	19634	21525	18770	20089	22193	19347	20272
	500	52903	48992	50663	51170	46555	48771	52636	48444	50318	52644	48475	50588
8	10	1936	1264	1583	1563	927	1271	1589	947	1276	1693	1124	1425
	25	3587	2553	3092	3240	1995	2659	3228	2191	2743	3634	2409	2913
	50	6188	5055	5564	5546	4520	4975	5808	4625	5187	6006	5009	5421
	100	11672	10001	10659	10842	9534	10075	11482	9569	10309	11377	9772	10579
	200	22414	19059	20562	21548	18480	19713	21725	18939	20208	22147	19099	20344
	500	53523	48784	50804	51979	47304	49211	53153	47988	50322	53711	48844	50664
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4226	3103	3644	3616	2458	2939	3596	2354	2956	3824	2831	3253
	50	7106	5575	6332	6210	4498	5434	6362	4666	5549	6692	5214	5987
	100	12360	10480	11393	11291	9425	10351	11499	9715	10609	11957	10083	10978
	200	23003	19347	21359	22109	18677	20302	22533	18763	20640	22663	19133	21044
	500	54902	49574	51435	52312	48042	49814	53521	48153	50552	53375	48945	50931
avg	17073,57	14948,04	15890,26	16252,22	14298,26	15172,96	16698,13	14640,22	15584,91	16923,35	14860,74	15759,52	

Tabla B.4: Algoritmos para generar soluciones iniciales - 33% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo

Algoritmos de soluciones iniciales													
k	n	Algoritmo 1 Valor objetivo			Algoritmo 2 Valor objetivo			Algoritmo 3 Valor objetivo			Algoritmo 4 Valor objetivo		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1499	710	1112	1296	718	998	1341	680	1008	1434	727	1106
	25	3086	2234	2701	2852	2027	2512	3001	2164	2562	3167	2289	2671
	50	5817	4394	5017	5134	4233	4617	5627	4573	4960	6052	4466	5061
	100	11000	9145	9951	10312	8509	9279	10739	9116	9887	11092	9164	9962
	200	21774	19110	20218	20619	18237	19191	21463	19567	20367	22020	19051	20263
	500	52458	48450	50096	49639	46713	47652	52404	49152	50053	52280	48162	50119
3	10	1731	1009	1359	1504	948	1153	1445	860	1156	1694	944	1285
	25	3268	2345	2827	2996	2092	2476	2882	2273	2532	3209	2342	2731
	50	6116	4861	5485	5619	4497	4996	6035	4749	5214	5950	4838	5457
	100	11420	9388	10311	10751	8959	9621	10891	9279	10068	11387	9415	10337
	200	22138	19223	20462	21399	18344	19370	21826	18984	20168	21929	18720	20340
	500	53672	49453	50772	50918	46574	48500	52941	48450	50427	53005	48979	50604
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4010	2871	3501	3306	2283	2786	3464	2212	2846	3900	2762	3327
	50	6825	5542	6007	5681	4546	5054	5786	4707	5255	6442	5302	5801
	100	12124	10452	11093	10910	8792	10063	11080	9854	10368	12246	10344	10999
	200	22832	19725	20933	21673	18703	19629	22326	18992	20167	22825	19749	20778
	500	54200	49933	51360	51936	47600	49200	53697	48212	50606	54249	49397	51108
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	8160	6418	7147	6415	4919	5599	6498	4834	5664	7394	5822	6773
	100	13250	11214	12146	11407	9506	10476	11789	9857	10660	13150	10988	11835
	200	24932	20326	22240	21622	18256	20222	22504	18530	20608	23426	19652	21786
	500	54346	50276	52108	52077	47112	49569	52677	48713	50605	55056	50435	51941
avg	18793,24	16527,57	17468,86	17526,95	15408,00	16331,57	18115,05	15988,48	16913,38	18662,24	16359,43	17346,86	

Tabla B.5: Algoritmos para generar soluciones iniciales - 33% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos

Algoritmos de soluciones iniciales													
k	n	Algoritmo 1 Valor objetivo			Algoritmo 2 Valor objetivo			Algoritmo 3 Valor objetivo			Algoritmo 4 Valor objetivo		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1636	805	1167	1448	689	1029	1382	762	1097	1403	727	1149
	25	3108	2270	2734	2741	2003	2481	2933	2239	2613	3230	2380	2720
	50	5962	4489	5099	5431	4034	4637	5692	4456	4947	5853	4646	5095
	100	11032	9248	10014	10678	8440	9316	10836	8689	9718	10943	9231	9973
	200	21713	19275	20344	20338	17827	19179	21650	19321	20268	21874	19358	20292
	500	52697	49006	50050	50167	45761	47572	52106	48932	49984	52525	48916	50184
3	10	1786	1135	1503	1656	929	1285	1551	875	1287	1704	1192	1428
	25	3520	2550	2982	2887	2253	2532	2976	2262	2604	3525	2364	2908
	50	6209	4742	5587	5830	4324	5020	5987	4322	5220	6323	5142	5614
	100	11500	9365	10518	10457	8596	9554	11254	9319	10100	11831	9688	10486
	200	22163	19416	20613	20909	18168	19360	22114	18737	20242	22217	19796	20612
	500	53067	49402	50897	50733	46846	48505	52921	48999	50428	53290	49110	50815
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4638	3425	3937	3803	2644	3099	3771	2514	3105	4280	3326	3735
	50	6859	5738	6329	5761	4779	5140	5988	4737	5325	6905	5644	6145
	100	12772	10422	11497	11022	9037	10053	11524	9923	10389	12657	10732	11388
	200	23021	20267	21378	21616	18735	19662	22222	19328	20295	23531	20082	21210
	500	54687	49715	51604	51774	47193	48928	53218	49060	50487	55365	50313	51517
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	8892	7247	7918	6814	5372	5992	6872	5298	5998	8376	7070	7656
	100	14082	12217	12972	11404	9865	10510	11698	10096	10701	13981	11672	12639
	200	24810	20942	23023	22128	18221	20269	22134	18872	20648	24362	20934	22613
	500	55547	51388	53005	52721	47849	49660	53617	49112	50645	55113	51336	52590
avg	19033,38	16812,57	17770,05	17634,19	15407,86	16370,62	18211,71	16088,24	16957,19	19013,71	16840,90	17655,67	

Tabla B.6: Algoritmos para generar soluciones iniciales - 33% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos

## B.2. Búsqueda multiarranque

### B.2.1. Algoritmo 1

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	963	497	706	38	0	1	933	485	698	9	1	1
	25	1916	1462	1748	16	6	7	1906	1420	1737	20	12	14
	50	3656	2904	3213	75	44	53	3715	2856	3190	129	94	108
	100	6998	5987	6409	450	331	377	7030	5959	6380	891	705	783
	200	14040	12778	13328	3750	3052	3379	14044	12820	13344	7592	6269	6800
	500	34097	32108	32937	190825	52571	71389	34137	32177	32957	308831	102000	175206
2	10	875	536	754	5	0	0	885	579	747	2	1	1
	25	1924	1446	1683	17	7	8	1932	1438	1675	19	13	15
	50	3818	3111	3480	66	47	55	3803	3076	3468	133	98	115
	100	7262	6032	6612	475	354	410	7289	5993	6631	916	720	807
	200	14281	12645	13287	3923	3060	3448	14336	12638	13301	7554	6123	6843
	500	34805	32363	33383	286695	52925	80888	34685	32425	33378	568645	105446	331778
6	10	1113	706	927	9	1	1	1129	692	916	3	2	2
	25	2247	1501	1921	16	9	11	2277	1443	1907	25	18	20
	50	3824	3285	3516	83	56	69	3771	3318	3517	164	118	136
	100	7335	6648	6963	560	397	465	7345	6573	6952	1132	804	941
	200	14887	12799	13360	4069	3218	3668	14811	12850	13387	7990	6605	7312
	500	35300	32526	33445	209746	53094	64519	35381	32532	33483	551516	105649	277131
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2598	1817	2155	21	12	16	2604	1829	2142	35	24	29
	50	4380	3484	3951	120	71	85	4390	3459	3945	200	150	173
	100	7925	6955	7295	649	491	564	7933	6870	7289	1246	995	1119
	200	15065	12328	13881	4394	3295	3898	14945	12476	13877	8696	7540	8016
	500	35364	32875	33743	113393	56214	60643	35342	32973	33760	578680	108798	238482
avg	11072,74	9860,57	10378,13	35625,87	9967,61	12780,61	11070,57	9864,39	10377,43	88888,17	19660,22	45905,74	

Tabla B.7: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)

Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primera mejor inserción						Búsqueda local mejor inserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	923	471	679	10	1	1	904	471	679	10	2	3
	25	1789	1364	1608	25	11	16	1798	1327	1605	58	34	40
	50	3353	2570	2850	153	109	123	3334	2570	2865	372	293	323
	100	6199	5136	5584	1275	968	1102	6184	5189	5625	3331	2638	2903
	200	12210	11040	11520	10331	8966	9527	12343	11075	11625	25258	22414	23663
	500	29393	27421	28200	230038	155003	163084	29635	27707	28536	840352	362048	406569
2	10	830	571	722	15	1	2	839	549	720	15	3	3
	25	1803	1312	1541	28	14	17	1781	1335	1539	55	34	42
	50	3375	2709	3114	159	113	134	3389	2774	3126	402	280	334
	100	6369	5236	5800	1283	1010	1142	6461	5227	5828	3158	2606	2864
	200	12486	10841	11497	10601	8717	9601	12525	10929	11581	25115	21357	23572
	500	29896	27528	28610	303406	152627	162740	30230	27945	28968	903509	365162	408279
6	10	1188	642	940	6	1	1	1129	630	936	4	2	3
	25	2176	1412	1803	29	17	21	2134	1412	1787	57	44	49
	50	3436	2974	3166	182	133	153	3415	2951	3166	438	319	379
	100	6524	5945	6137	1420	1131	1248	6555	5900	6165	3514	2931	3178
	200	12951	11190	11583	11103	9204	10031	13015	11232	11656	26668	22787	24317
	500	30468	27934	28715	271682	152540	161283	30798	28099	29053	1448187	361229	407540
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2571	1731	2155	36	18	22	2572	1764	2115	62	41	50
	50	4110	3128	3638	213	154	182	4071	3137	3626	503	365	429
	100	7171	6123	6477	1599	1292	1446	7156	6114	6500	3926	3163	3525
	200	13220	10695	12090	11825	9741	10617	13234	10748	12182	27346	23626	25595
	500	30638	28195	28988	172860	158606	164035	30920	28653	29321	1209165	353178	395198
avg	9699,09	8529,04	9018,13	44707,78	28712,04	30283,83	9757,48	8597,30	9095,83	196587,17	67154,61	75167,74	

Tabla B.8: Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1000	496	728	38	1	1	976	487	725	11	1	1
	25	1947	1464	1767	15	6	8	1942	1432	1762	22	12	14
	50	3717	2937	3235	77	40	52	3715	2881	3228	123	84	101
	100	7067	5987	6425	439	334	373	7025	6011	6431	791	637	713
	200	14165	12906	13360	3619	2943	3195	14062	12772	13355	6707	5661	6169
	500	34267	31955	32922	106713	52071	69351	34272	31976	32974	306540	92491	143024
2	10	997	576	802	5	0	1	943	589	794	2	1	1
	25	2014	1480	1730	17	7	9	1991	1477	1718	19	12	15
	50	3865	3210	3524	71	48	58	3849	3199	3520	131	95	111
	100	7337	5994	6675	465	342	402	7309	6025	6670	829	679	732
	200	14379	12587	13349	3640	2856	3273	14401	12600	13353	6789	5601	6225
	500	34863	32469	33405	227753	49565	79997	34794	32457	33448	445306	95707	304391
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2462	1605	2085	22	11	13	2387	1607	2071	35	20	23
	50	4004	3405	3670	95	65	78	3963	3411	3667	170	126	144
	100	7581	6807	7114	584	435	503	7480	6762	7100	1056	831	953
	200	14956	13025	13512	4066	3207	3663	15011	13024	13549	7906	6627	7011
	500	35560	32650	33585	181114	50131	61859	35622	32874	33672	441907	96955	178278
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2974	2222	2568	30	15	20	2991	2132	2541	47	29	33
	50	4685	3716	4252	124	89	107	4710	3761	4270	226	169	193
	100	8304	7205	7598	754	573	657	8282	7171	7600	1357	1116	1213
	200	15313	12709	14203	4787	3738	4233	15339	12602	14193	8739	7470	8028
	500	35772	33317	34032	101015	55676	59854	35742	33361	34077	463543	103057	200335
avg	11692,23	10396,45	10933,68	28883,77	10097,86	13077,59	11673,00	10391,41	10941,73	76920,73	18971,86	38986,73	

Tabla B.9: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	954	498	708	13	1	1	941	465	699	21	3	4
	25	1815	1354	1627	20	13	15	1796	1371	1630	68	37	44
	50	3369	2570	2876	143	102	121	3370	2563	2887	387	291	324
	100	6150	5172	5609	1219	924	1065	6196	5248	5649	3176	2545	2806
	200	12315	10942	11555	9602	7839	8925	12379	11092	11649	24399	21340	22792
	500	29219	27283	28204	306853	140125	163950	29685	27711	28554	528037	348435	400851
2	10	909	633	785	3	1	1	918	593	781	5	3	3
	25	1851	1386	1592	27	14	18	1850	1380	1595	59	39	47
	50	3466	2825	3165	162	118	135	3427	2839	3175	405	315	357
	100	6455	5299	5850	1261	945	1082	6492	5266	5883	3370	2660	2968
	200	12495	10884	11529	9784	8412	9006	12595	10961	11633	24948	21561	23176
	500	30041	27790	28695	199054	145788	154047	30381	28115	29014	1063804	356654	400308
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2400	1643	2061	24	16	19	2432	1626	2051	59	37	45
	50	3765	3106	3375	216	142	165	3645	3080	3345	482	347	404
	100	6644	5979	6298	1508	1227	1355	6689	5988	6312	3775	3045	3382
	200	13073	11260	11737	11262	9362	10222	13171	11353	11810	26950	22851	24760
	500	30657	27967	28877	208768	150827	158011	30972	28188	29193	1296999	357683	400666
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3935	2964	3363	4	1	2	3832	2808	3341	7	2	4
	50	4738	3792	4216	207	138	168	4599	3646	4171	470	364	398
	100	7606	6442	6887	1780	1361	1539	7554	6382	6865	4217	3466	3850
	200	13485	11036	12423	12408	10537	11309	13545	11035	12465	29713	24680	27217
	500	30974	28472	29297	197530	159429	165123	31282	28799	29619	1043259	368443	417834
avg	10287,09	9058,95	9578,59	43720,36	28969,18	31194,50	10352,32	9114,05	9650,95	184300,45	69763,68	78738,18	

Tabla B.10: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)



Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1023	548	764	37	0	110	10	534	756	14	1	1
	25	1984	1498	1793	16	6	81	968	1481	1780	25	12	14
	50	3732	2877	3253	74	44	53	3706	2925	3253	124	89	99
	100	7028	5801	6445	424	306	354	7020	6007	6452	765	641	692
	200	14173	12744	13378	3378	2770	3031	14091	12719	13397	6442	5473	5933
	500	34192	32102	32947	85625	49479	63322	34184	32072	32985	289209	89636	102904
2	10	1060	680	869	3	1	1	1075	655	873	2	1	1
	25	2052	1562	1785	20	8	9	2033	1481	1773	33	14	17
	50	3908	3215	3584	72	47	60	3928	3195	3574	134	96	109
	100	7370	6037	6723	476	363	404	7347	6125	6719	794	660	733
	200	14479	12782	13368	3561	2850	3209	14421	12643	13384	6819	5458	6079
	500	34811	32327	33469	225994	48563	74894	35044	32579	33479	433158	89328	126022
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2619	1866	2290	24	12	16	2648	1891	2287	32	23	26
	50	4183	3574	3817	110	77	89	4193	3491	3818	190	146	165
	100	7663	7002	7264	632	452	535	7766	6921	7248	1139	905	1020
	200	15117	13147	13667	4238	3409	3789	15193	13118	13689	7841	6610	7245
	500	35729	32756	33791	155711	50552	60400	35813	32977	33822	461537	94526	210249
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5045	4074	4612	150	113	132	5073	4186	4597	276	203	229
	100	8582	7501	7899	912	672	759	8608	7395	7904	1499	1226	1353
	200	15676	12794	14486	5218	4114	4621	15652	12956	14478	9782	7798	8665
	500	36016	33544	34345	103152	57737	61144	36094	33536	34381	476414	104824	190755
avg		12211,52	10877,67	11454,71	28087,00	10551,19	13191,10	12136,52	10899,38	11459,48	80772,81	19412,86	31538,62

Tabla B.11: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)

Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1011	524	744	14	1	1	989	501	736	21	2	3
	25	1848	1366	1652	20	11	15	1830	1365	1654	57	33	41
	50	3352	2559	2902	147	107	122	3389	2594	2907	356	277	317
	100	6213	5257	5643	1140	892	1011	6229	5264	5671	3064	2555	2744
	200	12244	11037	11558	9300	7963	8539	12391	11060	11670	24583	21881	22967
	500	29404	27343	28250	219802	135493	145006	29738	27687	28567	849220	348268	516962
2	10	1094	691	890	2	1	1	1075	685	888	13	2	2
	25	1939	1396	1660	23	15	19	1916	1417	1657	58	40	46
	50	3544	2897	3219	170	118	141	3537	2879	3230	404	315	355
	100	6519	5198	5899	1301	991	1121	6514	5334	5916	3311	2645	2978
	200	12560	10829	11589	10119	8765	9211	12643	11072	11677	25525	21928	23091
	500	30174	27615	28747	271793	138222	147135	30344	28158	29061	821196	348496	379818
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2863	2028	2468	16	9	12	2849	1972	2463	35	23	28
	50	3955	3300	3621	178	122	154	3919	3273	3590	455	344	401
	100	6921	6204	6482	1473	1168	1313	6865	6290	6482	3961	3244	3557
	200	13250	11278	11887	10823	9086	9842	13359	11463	11971	27335	23420	25321
	500	30720	28208	29046	255968	142905	155667	31156	28379	29356	1113271	339919	394688
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5675	4493	5046	129	86	102	5583	4506	5032	304	196	241
	100	8152	7023	7437	1621	1289	1416	8047	6917	7359	4124	3333	3666
	200	14009	11474	12823	12750	10484	11420	13995	11260	12821	30239	25719	27683
	500	31181	28863	29620	240007	159044	168894	31583	29147	29943	876854	364064	395236
avg	10791,81	9503,95	10056,33	49371,24	29370,10	31482,95	10854,81	9582,05	10126,24	180208,86	71747,81	85721,19	

Tabla B.12: Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 1 - 25% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	951	473	706	30	0	1	939	466	696	12	1	1
	25	1939	1474	1742	21	5	7	1939	1480	1739	19	11	13
	50	3670	2920	3204	67	40	52	3723	2922	3203	121	86	100
	100	7026	5920	6409	431	324	377	7011	5817	6398	850	654	733
	200	14095	12628	13316	3900	2927	3333	14052	12724	13329	6916	6007	6459
	500	34177	31671	32902	81562	51333	65918	34078	32076	32966	234320	97988	104645
3	10	924	632	799	10	0	1	924	641	792	3	1	1
	25	1981	1520	1727	19	7	9	1958	1456	1719	35	13	15
	50	3843	3153	3522	79	46	58	3855	3114	3512	139	97	109
	100	7330	6102	6673	484	372	417	7294	6105	6680	904	715	791
	200	14427	12589	13321	3873	3018	3451	14419	12510	13354	7465	5693	6620
	500	34748	32121	33434	275866	51665	84124	34892	32313	33426	576747	98709	328692
8	10	1237	788	1020	10	1	1	1224	763	1020	4	2	2
	25	2360	1626	2009	20	10	12	2327	1615	2003	26	18	20
	50	3979	3289	3615	92	60	72	3920	3368	3614	160	110	131
	100	7470	6704	7045	559	419	477	7444	6794	7036	967	797	855
	200	14930	12910	13475	4018	3180	3628	14952	13047	13491	7494	6561	6949
	500	35508	32470	33560	222569	53194	63657	35555	32745	33588	565425	101639	365923
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2794	1999	2353	25	14	18	2818	1994	2343	39	25	30
	50	4594	3631	4148	133	80	96	4577	3727	4129	208	157	178
	100	8147	7015	7497	678	521	590	8177	7012	7482	1265	994	1109
	200	15311	12705	14090	4537	3613	4012	15249	12526	14096	8580	7588	7962
	500	35576	33164	33923	115336	55406	60823	35701	32971	33932	598800	109862	312164
avg	11174,65	9891,48	10456,09	31057,35	9836,30	12658,00	11175,13	9921,13	10458,61	87413,00	19031,65	49717,48	

Tabla B.13: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	940	485	682	14	1	3	910	466	675	18	3	3
	25	1826	1330	1611	32	12	16	1796	1319	1611	57	35	42
	50	3336	2577	2856	169	114	129	3319	2554	2864	387	288	343
	100	6132	5118	5595	1241	921	1087	6165	5218	5623	3356	2636	2946
	200	12178	10989	11514	10028	8576	9320	12330	10956	11617	26225	22913	24341
	500	29367	27383	28181	353814	151746	185765	29615	27630	28509	681465	365005	417913
3	10	907	586	773	10	1	2	890	587	762	23	3	4
	25	1843	1383	1590	30	15	19	1859	1358	1588	51	37	44
	50	3477	2845	3163	168	122	144	3462	2831	3169	436	300	358
	100	6485	5205	5838	1401	1120	1215	6513	5333	5885	3525	2821	3063
	200	12515	10955	11542	11161	9424	10098	12598	10981	11628	26034	22772	24298
	500	30034	27713	28688	344498	151256	171225	30300	28008	29023	1573289	365695	1034385
8	10	1398	840	1124	2	0	0	1333	873	1131	3	1	1
	25	2303	1508	1926	27	17	20	2262	1556	1905	56	42	49
	50	3524	3008	3267	199	126	158	3545	3026	3270	411	318	357
	100	6584	5974	6212	1517	1145	1279	6590	5958	6247	3311	2691	2944
	200	13026	11215	11683	11494	9063	10102	13145	11358	11773	24865	20699	22954
	500	30687	27982	28820	218982	151356	162314	30827	28348	29160	1236695	341634	400368
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3000	1938	2470	29	15	18	2861	2071	2449	53	33	40
	50	4340	3422	3897	235	158	193	4259	3435	3870	507	398	443
	100	7414	6307	6691	1760	1355	1562	7369	6260	6707	3974	3336	3620
	200	13372	10694	12313	12658	10238	11153	13473	10935	12367	28519	24386	26300
	500	30802	28402	29194	299430	162626	172204	31011	28675	29510	1352238	350820	409687
avg	9803,91	8602,57	9114,35	55169,52	28669,87	32088,09	9844,87	8684,17	9188,83	215891,22	66385,48	103239,26	

Tabla B.14: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)

Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	980	492	735	43	0	1	965	500	723	7	1	1
	25	1972	1479	1776	17	6	8	1937	1444	1751	23	12	14
	50	3780	2910	3232	67	42	50	3663	2893	3224	128	85	99
	100	7011	5993	6422	433	311	367	7035	5848	6427	760	631	697
	200	14100	12725	13337	3520	2786	3154	14106	12673	13357	6627	5504	6068
	500	34331	32104	32933	121233	49455	68749	34258	32245	32961	143275	92275	107794
3	10	1076	716	886	9	1	1	1097	668	872	7	1	2
	25	2091	1578	1804	19	8	10	2077	1525	1797	28	14	17
	50	3917	3214	3599	81	54	62	3875	3202	3590	145	100	115
	100	7350	6117	6733	505	373	425	7349	6105	6744	898	730	786
	200	14425	12684	13397	3718	3066	3338	14446	12761	13407	6993	5917	6411
	500	35015	32414	33496	230559	49504	76927	35000	32506	33516	450312	94477	164148
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2618	1775	2240	23	12	15	2584	1810	2233	31	22	25
	50	4123	3576	3814	102	75	86	4179	3567	3811	176	132	150
	100	7670	7026	7251	624	472	545	7682	6939	7253	1077	885	979
	200	15165	12975	13658	4202	3335	3778	15171	13227	13688	7850	6581	7172
	500	35583	32832	33786	178641	49737	60918	35747	32925	33823	430410	96607	179784
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5020	4025	4576	157	111	126	5045	4108	4559	252	195	219
	100	8579	7375	7888	896	651	741	8599	7498	7907	1496	1187	1341
	200	15710	13065	14469	5080	4082	4566	15679	13112	14483	9244	7799	8523
	500	36258	33545	34332	143996	57148	60542	36161	33422	34392	449307	105755	166470
avg	12227,33	10886,67	11445,90	33044,05	10534,71	13543,29	12221,67	10903,71	11453,24	71859,33	19948,10	30991,19	

Tabla B.15: Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 1 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	963	505	700	17	1	2	949	465	700	24	2	3
	25	1830	1344	1629	18	11	15	1822	1358	1628	53	36	42
	50	3343	2561	2871	138	98	115	3363	2544	2884	364	289	325
	100	6118	5185	5612	1162	861	986	6205	5194	5639	3236	2564	2795
	200	12210	10917	11545	9402	7841	8548	12309	11132	11647	24871	21275	23073
	500	29396	27271	28203	209952	141842	148484	29648	27776	28527	889312	352222	579046
3	10	1088	665	899	5	1	1	1090	683	892	21	2	3
	25	1971	1458	1678	28	16	19	1950	1453	1663	64	39	46
	50	3522	2892	3247	181	121	146	3546	2888	3246	430	298	354
	100	6557	5237	5912	1376	977	1158	6581	5366	5945	3277	2643	2954
	200	12602	10966	11598	10403	8339	9382	12675	10991	11700	25343	21339	23670
	500	29954	27466	28741	279324	141749	150013	30519	28150	29100	850249	351996	384835
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2742	1987	2357	23	12	15	2691	1907	2324	57	30	35
	50	3890	3343	3574	194	133	161	3901	3238	3541	471	368	413
	100	6889	6275	6480	1575	1132	1358	6858	6214	6468	4040	3147	3536
	200	13243	11253	11880	10543	9124	9775	13366	11498	11965	26942	22966	24936
	500	30813	28135	29005	275061	143486	157332	31262	28508	29349	1178368	340638	419350
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5344	4361	4824	153	104	126	5277	4250	4778	335	246	287
	100	8024	6957	7339	1732	1305	1491	7941	6802	7279	4160	3334	3664
	200	13847	11316	12786	12886	10256	11574	13872	11373	12784	29391	25794	27144
	500	31316	28814	29617	223325	160477	168144	31543	29027	29902	1151905	349252	402304
avg	10745,81	9471,81	10023,67	49404,67	29899,33	31849,76	10827,05	9562,71	10093,38	199662,52	71356,19	90419,76	

Tabla B.16: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)

Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1025	524	764	37	0	1	1019	521	759	20	1	1
	25	1974	1502	1785	14	6	8	1988	1512	1788	19	11	14
	50	3793	3017	3262	66	40	48	3721	2944	3256	113	87	99
	100	7073	6041	6449	402	304	352	7071	5999	6455	788	606	704
	200	14201	12800	13380	3332	2687	2987	14145	12756	13405	6488	5588	5989
	500	34232	31889	32994	85557	50096	64298	34222	32073	32999	225629	90055	113795
3	10	1286	787	1035	2	1	1	1232	793	1022	3	1	1
	25	2237	1639	1890	19	9	11	2176	1644	1877	22	17	19
	50	4076	3287	3692	98	56	67	4037	3291	3665	144	110	123
	100	7473	6200	6816	497	383	435	7430	6187	6816	895	727	807
	200	14692	12841	13483	3886	2933	3323	14484	12817	13479	6857	5719	6324
	500	35050	32504	33585	205715	49516	76419	35045	32519	33576	410110	93476	163232
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2916	2071	2585	23	14	17	2904	2124	2564	37	25	28
	50	4440	3795	4046	119	91	101	4390	3782	4029	241	158	182
	100	7961	7067	7456	726	533	608	7884	7094	7459	1253	1016	1120
	200	15403	13221	13867	4627	3650	4096	15379	13246	13873	8553	7065	7750
	500	35889	32796	33971	161549	53204	62203	35844	33080	34017	429514	99178	136767
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5584	4605	5109	177	119	146	5583	4609	5089	279	210	248
	100	9013	7937	8314	972	771	872	9025	7946	8305	1759	1467	1583
	200	16011	13395	14894	6057	4537	5260	16106	13350	14887	10693	8751	9667
	500	36499	33695	34739	117718	61092	65050	36674	34062	34817	548519	112443	220616
avg		12420,38	11029,19	11624,57	28171,10	10954,38	13633,48	12398,05	11064,24	11625,57	78663,62	20319,57	31860,43

Tabla B.17: Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 1 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1035	511	741	11	1	2	1011	507	734	19	2	3
	25	1852	1381	1652	22	13	17	1828	1370	1651	54	36	41
	50	3369	2542	2893	151	103	126	3362	2585	2904	388	283	327
	100	6171	5184	5638	1218	965	1076	6237	5251	5674	3142	2577	2792
	200	12324	11060	11565	9786	8361	8835	12326	11145	11668	24365	21073	22701
	500	29343	27339	28225	227694	140813	151463	29656	27683	28555	508800	345571	364506
3	10	1424	828	1161	1	0	0	1402	783	1152	1	0	0
	25	2117	1597	1806	30	16	19	2109	1566	1785	56	39	45
	50	3666	2959	3339	182	129	152	3618	2917	3324	437	321	375
	100	6607	5414	5984	1350	1050	1197	6657	5421	6019	3466	2844	3095
	200	12684	10999	11693	10340	8698	9498	12821	11144	11781	25298	22095	23209
	500	30079	27856	28854	251923	145993	152671	30526	28144	29189	692672	338981	363813
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3930	2724	3305	4	1	2	3831	2770	3294	20	2	3
	50	4328	3659	4007	181	132	148	4340	3705	3928	436	317	361
	100	7204	6443	6766	1640	1261	1429	7194	6517	6727	3885	3182	3455
	200	13489	11577	12111	11985	9356	10865	13627	11640	12166	28426	24121	26157
	500	31099	28502	29253	256054	154941	163817	31372	28647	29554	751250	353284	382862
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	7560	6248	6826	29	11	16	7535	6230	6827	45	19	28
	100	8962	7801	8202	1616	1223	1402	8817	7555	8083	3947	3186	3462
	200	14465	11778	13385	13130	11541	12323	14399	11789	13356	31543	27496	29160
	500	31718	29241	30071	247836	171853	179876	31928	29448	30316	1357196	379850	926094
avg	11115,52	9792,52	10356,05	49294,43	31260,05	33092,10	11171,24	9848,43	10413,67	163592,67	72632,33	102499,48	

Tabla B.18: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 1 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)



**B.2.2. Algoritmo 2 ( $p = 3$ )**

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	984	527	713	40	0	2	946	522	704	11	0	1
	25	1941	1484	1748	18	6	9	1926	1481	1731	30	11	14
	50	3667	2996	3224	74	43	55	3631	2853	3196	144	95	106
	100	7038	5971	6386	519	350	420	6904	6163	6444	890	652	746
	200	13863	12969	13344	4063	2956	3606	13897	12984	13332	7069	6030	6443
	500	34216	32449	32947	96570	57740	7396	334038	32156	32884	298557	96884	145745
2	10	897	623	748	2	0	0	866	606	747	2	1	1
	25	1918	1477	1677	15	6	8	1955	1403	1662	21	10	13
	50	3747	3101	3456	79	47	57	3729	3159	3443	115	89	101
	100	7304	6017	6579	487	356	411	7153	6025	6572	836	647	727
	200	14301	12618	13237	4053	3218	3526	14283	12656	13207	7054	5953	6387
	500	34710	32266	33217	264270	53688	77431	34694	32167	33212	484534	95419	221574
6	10	1106	638	904	4	0	1	1082	651	896	2	1	1
	25	2206	1532	1879	19	7	9	2198	1457	1857	23	13	15
	50	3789	3201	3461	93	49	60	3755	3213	3434	128	94	106
	100	7324	6615	6907	518	385	431	7236	6461	6856	880	718	783
	200	14667	12643	13290	3874	3070	3401	14728	12766	13266	7156	5769	6452
	500	35344	32462	33320	183141	51235	62004	35181	32408	33306	527793	96331	276457
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2555	1750	2124	14	8	11	2559	1798	2114	24	15	18
	50	4319	3405	3861	108	55	66	4273	3411	3822	145	107	123
	100	7941	6641	7178	565	433	482	7784	6786	7137	999	824	899
	200	14814	12181	13753	4064	3261	3601	14813	12246	13709	7567	6434	7008
	500	35238	32857	33607	96872	53682	58148	35170	32701	33559	565998	103366	334123
avg	11038,65	9844,48	10328,70	28672,26	10025,87	9614,57	24034,83	9829,26	10308,26	83042,52	18237,52	43819,26	

Tabla B.19: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	952	490	697	9	1	1	923	478	686	9	2	3
	25	1789	1371	1629	23	13	16	1797	1369	1620	52	33	41
	50	3289	2609	2871	158	93	123	3323	2776	2893	385	255	319
	100	6179	5286	5593	1283	923	1086	6132	5254	5636	3037	2330	2697
	200	12304	11118	11533	10355	8255	9188	12226	11199	11668	24621	19401	21646
	500	29283	27433	28207	194839	143949	154263	29527	27789	28496	541355	336542	361213
2	10	831	587	721	12	1	2	835	561	711	17	2	3
	25	1773	1370	1534	20	12	15	1767	1340	1533	48	33	37
	50	3373	2744	3093	174	106	123	3413	2784	3096	348	265	304
	100	6373	5272	5795	1148	868	1011	6442	5249	5800	2961	2358	2585
	200	12394	10866	11466	10050	8301	8766	12505	10896	11536	24026	20199	22043
	500	29911	27576	28603	252707	146433	156112	30195	27794	28849	1111466	324004	362828
6	10	1102	619	919	2	0	0	1128	654	920	4	1	1
	25	2085	1398	1766	21	13	16	2089	1334	1751	52	35	42
	50	3376	2897	3118	175	114	132	3387	2886	3112	393	298	338
	100	6407	5821	6083	1270	985	1114	6425	5862	6090	3132	2580	2865
	200	12872	10992	11505	10201	8508	9099	12950	11045	11568	25033	20818	22668
	500	30426	27782	28640	250633	143703	154085	30646	27947	28883	430855	325068	342487
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2582	1702	2123	27	9	12	2566	1729	2102	36	22	26
	50	3941	3070	3550	287	118	142	3905	3113	3515	412	304	352
	100	7040	5892	6379	1358	1051	1221	6959	6021	6372	3440	2757	3053
	200	13011	10532	11961	11039	8920	9679	13032	10467	12024	24913	21077	23031
	500	30495	28147	28854	194593	149392	155615	30824	28242	29138	865562	328237	363638
avg	9642,96	8503,22	8984,35	40886,26	27033,39	28774,83	9695,48	8556,04	9043,43	133137,26	61157,43	66618,26	

Tabla B.20: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	942	495	735	43	0	3	909	548	736	8	0	1
	25	1974	1543	1776	25	5	8	1978	1526	1757	33	9	13
	50	3609	2858	3227	86	40	53	3712	2945	3197	125	79	98
	100	7057	6107	6466	452	305	364	6937	6078	6416	814	565	670
	200	14101	12892	13323	3620	2735	3080	14083	12741	13294	6606	5487	5974
	500	34094	32291	32933	124499	48408	70494	33926	32289	32706	234752	87420	97300
2	10	956	625	803	4	0	0	929	657	787	2	1	1
	25	1972	1495	1714	12	5	7	1949	1510	1704	20	10	13
	50	3795	3150	3481	71	44	54	3751	3107	3466	122	82	97
	100	7242	6087	6641	434	325	374	7254	6046	6584	787	584	691
	200	14262	12633	13267	3657	2873	3142	14245	12578	13229	6254	5258	5792
	500	34553	32134	33259	200745	46992	66945	34625	32351	33210	371926	88567	164332
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2410	1703	2068	16	7	9	2361	1612	2027	28	13	16
	50	3952	3339	3580	81	50	60	3901	3320	3540	133	95	111
	100	7397	6694	6996	498	370	433	7373	6713	6967	872	704	781
	200	14824	12842	13394	3606	2773	3252	14837	12839	13346	6916	5451	6200
	500	35312	32554	33421	180613	48676	60139	35226	32500	33379	380243	87717	179464
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2947	2136	2526	20	9	11	2917	2109	2513	27	15	20
	50	4586	3675	4175	89	57	70	4512	3656	4129	158	96	127
	100	8044	6977	7385	555	423	493	8005	6954	7329	1062	813	905
	200	15121	12493	13945	4036	3258	3543	14994	12370	13894	7522	6149	6759
	500	35495	32776	33813	92893	51130	55961	35361	32838	33686	431204	91745	177051
avg	11574,77	10340,86	10860,36	28002,50	9476,59	12204,32	11535,68	10331,23	10813,45	65891,55	17311,82	29382,55	

Tabla B.21: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	967	532	723	11	1	2	967	520	714	16	2	3
	25	1788	1386	1633	25	11	14	1808	1391	1638	55	26	37
	50	3331	2610	2897	156	94	116	3364	2597	2882	349	233	286
	100	6101	5272	5600	1194	827	1010	6153	5260	5636	2813	2258	2510
	200	12249	11165	11522	9919	7534	8455	12135	11101	11653	22851	18550	20189
	500	28901	27406	28186	245806	131181	145097	29475	27553	28527	906370	319922	467371
2	10	963	654	797	3	0	1	942	639	783	3	1	2
	25	1850	1387	1579	25	11	15	1816	1378	1567	52	32	37
	50	3456	2824	3140	136	100	115	3428	2827	3135	341	263	295
	100	6421	5195	5805	1117	882	993	6393	5233	5818	2960	2286	2570
	200	12478	10839	11488	9406	8061	8501	12504	10906	11552	23515	19885	21328
	500	29963	27750	28622	251515	132751	147002	30097	27832	28822	969271	321041	401541
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2396	1602	2038	14	7	10	2373	1566	2035	34	19	25
	50	3522	3090	3304	154	104	126	3534	2930	3250	412	287	336
	100	6611	5938	6208	1303	968	1112	6586	6009	6197	3258	2592	2927
	200	12965	11127	11622	9975	8274	8922	13032	11202	11663	24444	20902	22361
	500	30516	27858	28728	204235	135671	147029	30813	28151	28973	966818	325642	382264
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3263	2393	2823	3	1	1	3364	2302	2814	4	1	2
	50	4561	3671	4122	112	67	86	4616	3650	4091	249	180	208
	100	7364	6221	6717	1404	1021	1199	7234	6273	6629	3540	2790	3185
	200	13303	10747	12230	10591	8863	9661	13224	10751	12212	26200	22465	23913
	500	30584	28091	29049	188660	141372	153832	30843	28549	29291	1151254	327678	389742
avg	10161,50	8989,00	9492,41	42534,73	26263,68	28786,32	10213,68	9028,18	9540,09	186582,23	63047,95	79142,36	

Tabla B.22: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1021	565	792	33	0	2	1000	565	776	10	0	2
	25	2023	1607	1818	13	5	7	1979	1526	1776	23	10	13
	50	3720	3013	3273	70	36	49	3740	2958	3234	113	70	89
	100	7077	6086	6464	385	275	334	6861	5964	6399	754	546	640
	200	13979	13138	13374	3249	2263	2858	14201	12959	13316	6161	4837	5493
	500	34052	32612	32967	114298	47361	63770	34069	32146	32788	137214	81563	88923
2	10	1115	672	887	9	0	0	1026	683	863	2	1	1
	25	2045	1527	1748	17	6	7	2050	1496	1732	21	10	12
	50	3817	3180	3522	65	38	50	3794	3198	3500	113	76	90
	100	7353	6065	6682	428	309	357	7227	6092	6632	774	572	660
	200	14214	12595	13298	3395	2564	2980	14259	12495	13222	6098	5063	5552
	500	34618	32253	33262	213100	45208	73535	34753	32178	33198	421043	83552	299009
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2638	1865	2288	21	7	9	2610	1835	2266	19	12	15
	50	4090	3490	3736	94	51	65	4084	3492	3706	150	91	113
	100	7542	6775	7094	504	383	433	7526	6728	7057	903	655	772
	200	14956	13011	13482	3784	2970	3305	14923	12948	13416	6868	5658	6295
	500	35320	32638	33532	188673	46199	56666	35338	32460	33445	427425	86455	288740
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	4995	4021	4544	91	56	72	4919	3961	4505	169	105	125
	100	8380	7295	7698	678	459	527	8288	7144	7638	1086	838	923
	200	15473	12685	14165	4089	3114	3656	15139	12632	14058	7506	6309	6886
	500	35638	33263	33990	93902	51746	56075	35537	32913	33880	474560	98222	255963
avg		12098,38	10874,10	11362,67	29852,29	9669,05	12607,48	12063,00	10779,67	11305,10	71000,57	17840,24	45729,33

Tabla B.23: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1017	541	774	11	1	1	988	540	751	11	1	2
	25	1858	1409	1667	22	11	14	1816	1415	1671	46	23	33
	50	3323	2658	2921	163	95	121	3368	2660	2908	349	237	281
	100	6143	5287	5655	1350	827	998	6201	5176	5644	2933	2214	2542
	200	12273	11076	11598	9657	7364	8212	12269	11225	11595	24575	18910	20932
	500	29315	27633	28328	315665	133849	161204	29585	27493	28406	642547	317113	364218
2	10	1179	670	886	4	0	0	1071	670	877	2	1	1
	25	1940	1424	1637	21	11	15	1884	1430	1636	51	29	36
	50	3535	2866	3192	151	96	120	3473	2854	3182	351	243	301
	100	6429	5276	5857	1160	909	1008	6482	5314	5865	2934	2344	2593
	200	12461	10921	11516	9317	8044	8579	12501	10858	11567	22675	18916	20667
	500	29925	27742	28655	229267	131878	145972	30178	27740	28850	1066924	320023	362946
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2769	1829	2382	8	4	5	2757	1823	2372	15	7	11
	50	3914	3312	3578	142	86	109	3880	3244	3536	316	240	270
	100	6733	6032	6389	1310	994	1143	6701	6123	6337	3306	2689	3016
	200	13103	11318	11744	9876	8510	9157	13118	11270	11743	24728	21177	22965
	500	30592	27938	28850	206565	138820	147348	30838	28186	29055	1169873	326989	378735
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5302	4058	4758	59	31	41	5266	3977	4751	105	67	84
	100	7975	6865	7317	1104	867	970	7970	6603	7189	2789	2286	2522
	200	13735	11040	12552	10804	8743	9728	13551	10971	12470	26437	22363	24396
	500	30943	28379	29270	191960	145954	155863	31011	28667	29439	1372623	347741	410140
avg	10688,76	9441,62	9977,43	47076,95	27956,86	30981,33	10709,90	9439,95	9992,57	207790,00	66838,71	76985,29	

Tabla B.24: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	984	527	711	40	0	2	946	522	708	6	0	1
	25	1941	1484	1751	19	6	9	1916	1481	1728	18	11	14
	50	3630	2996	3225	76	43	54	3691	2853	3200	136	88	104
	100	7058	5971	6391	548	332	410	6904	6163	6444	830	645	734
	200	14151	12969	13355	4057	2909	3534	13891	12984	13329	7120	5978	6460
	500	33674	32449	32936	97122	58223	70102	34038	32156	32882	161037	95614	105425
3	10	903	616	787	10	0	1	928	616	786	2	1	1
	25	1974	1414	1711	16	6	8	1988	1463	1695	19	11	13
	50	3795	3125	3484	69	46	55	3778	3114	3479	119	89	100
	100	7303	6004	6630	469	343	412	7228	6043	6595	834	658	749
	200	14395	12628	13295	3870	2953	3427	14262	12631	13238	7029	5689	6386
	500	34570	32150	33262	288391	52326	77784	34502	32081	33235	544585	96517	282966
8	10	1183	770	1011	10	0	1	1182	750	996	3	1	1
	25	2365	1589	1978	17	7	9	2371	1614	1967	19	10	15
	50	3874	3301	3542	77	47	60	3836	3306	3525	122	96	105
	100	7366	6658	6976	519	387	443	7324	6645	6952	924	740	818
	200	14840	12838	13361	4040	3065	3461	14832	12785	13344	7362	5702	6592
	500	35323	32430	33421	174487	53537	61043	35217	32319	33362	577814	96771	228986
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2757	1989	2329	25	9	11	2720	1889	2306	25	14	18
	50	4475	3542	4050	89	61	73	4453	3535	4006	149	112	129
	100	8043	6961	7333	588	406	485	8016	6882	7287	1026	813	908
	200	14986	12405	13915	4110	3266	3729	14937	12419	13876	8017	6437	7182
	500	35416	32658	33752	148789	53602	59654	35415	32975	33727	572877	101610	180597
avg		11087,22	9890,17	10400,26	31627,74	10068,43	12381,17	11059,78	9879,39	10376,83	82177,09	18156,83	36013,22

Tabla B.25: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	910	490	696	9	1	1	886	478	685	26	2	3
	25	1789	1371	1631	23	12	16	1797	1369	1621	53	33	40
	50	3272	2609	2873	165	90	124	3340	2776	2896	384	237	315
	100	6114	5286	5592	1331	965	1127	6128	5254	5638	3156	2426	2799
	200	12304	11118	11532	10479	8584	9514	12226	11199	11666	25284	20296	22429
	500	29283	27433	28202	247520	145559	159167	29574	27789	28487	1108284	355446	423413
3	10	924	607	756	26	1	1	883	605	751	9	2	3
	25	1823	1353	1572	34	13	16	1849	1357	1568	53	31	38
	50	3424	2781	3144	156	105	124	3463	2819	3136	378	271	318
	100	6389	5252	5820	1193	927	1047	6474	5296	5834	3235	2473	2778
	200	12488	10783	11510	10516	8573	9386	12655	10838	11574	24960	20285	22802
	500	29991	27461	28605	215367	146985	155629	30208	27981	28923	1030180	355462	397177
8	10	1271	852	1075	1	0	0	1243	803	1054	2	0	0
	25	2295	1455	1881	32	13	15	2266	1422	1864	44	29	36
	50	3509	2889	3206	168	119	136	3456	2891	3194	432	324	362
	100	6526	5911	6169	1339	1059	1175	6523	5888	6169	3603	2924	3146
	200	12908	11052	11591	10486	8574	9503	13029	11136	11659	26238	21585	23720
	500	30515	27847	28707	223159	151072	157579	30660	28009	28993	1630745	342537	1080292
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2826	1995	2399	12	6	8	2854	1968	2399	23	12	15
	50	4237	3343	3840	173	110	131	4185	3212	3775	367	274	309
	100	7215	6105	6580	1515	1161	1288	7099	6093	6529	3481	2824	3095
	200	13192	10753	12131	11175	9145	10236	13300	10756	12175	25591	22002	23718
	500	30581	28133	29031	201250	156107	162533	30866	28499	29293	1393910	328064	425044
avg	9729,83	8559,96	9067,09	40701,26	27790,48	29511,13	9781,04	8627,74	9125,35	229584,26	64240,83	105732,70	

Tabla B.26: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)



Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	966	495	735	54	0	3	909	548	738	8	0	1
	25	1974	1543	1776	18	6	9	1978	1526	1761	22	9	12
	50	3609	2858	3230	75	39	52	3640	2945	3200	140	70	96
	100	7057	6107	6467	437	308	363	6937	6078	6416	808	564	661
	200	14101	12892	13315	3664	2805	3117	13945	12741	13289	6399	5320	5829
	500	34004	32291	32932	83019	52628	65772	33658	32289	32681	227318	86983	97996
3	10	1072	689	881	9	0	1	1066	665	876	2	1	1
	25	2061	1534	1766	16	6	8	2060	1507	1754	22	11	13
	50	3836	3214	3542	73	40	53	3833	3146	3522	119	82	95
	100	7337	6053	6669	440	341	384	7313	5980	6630	784	604	697
	200	14403	12761	13315	3523	2772	3115	14297	12776	13286	6405	5268	5771
	500	34771	32062	33354	222298	47939	71668	34664	32449	33262	438231	89107	177206
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2632	1764	2230	24	6	9	2615	1782	2219	25	13	16
	50	4073	3461	3726	80	51	64	4031	3442	3685	150	94	114
	100	7471	6864	7116	506	364	440	7466	6878	7062	949	737	810
	200	14974	12894	13498	4094	2919	3405	14963	13023	13457	7100	5904	6505
	500	35599	32582	33539	145168	48607	56665	35290	32601	33475	430345	88974	136095
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	4921	3979	4488	94	58	7	24875	3979	4454	164	105	129
	100	8318	7290	7678	639	477	540	8275	7100	7594	1048	857	937
	200	15316	12634	14182	4298	3393	3736	15221	12579	14106	7693	6134	6916
	500	35847	33308	34057	83559	53099	56586	35591	33204	33906	479444	94811	194680
avg		12111,52	10822,62	11356,95	26289,90	10278,95	12666,52	12982,24	10820,86	11303,48	76532,19	18364,19	30218,10

Tabla B.27: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	967	532	724	11	0	1	934	520	713	26	2	3
	25	1815	1386	1634	33	11	15	1815	1391	1637	56	30	38
	50	3353	2610	2897	145	86	117	3361	2597	2881	367	228	289
	100	6170	5272	5602	1092	822	976	6153	5260	5634	2824	2258	2569
	200	12249	11165	11516	9421	7416	8288	12314	11101	11660	23220	19237	20919
	500	29386	27406	28183	229609	124881	146145	29475	27553	28538	735403	314387	359084
3	10	1072	677	892	9	0	1	1125	677	891	3	1	1
	25	1913	1453	1658	27	12	15	1887	1462	1641	53	34	40
	50	3503	2867	3214	145	104	120	3503	2876	3195	359	284	313
	100	6515	5274	5871	1151	856	1000	6488	5187	5874	3255	2515	2810
	200	12596	10966	11554	9399	7660	8350	12578	10978	11606	23993	20411	21597
	500	29989	27674	28647	274747	133047	146094	30283	27813	28919	1252084	340523	980325
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2706	1835	2288	15	5	7	2644	1747	2267	23	10	15
	50	3809	3291	3522	154	86	114	3761	3262	3462	351	264	308
	100	6746	6133	6356	1264	943	1107	6696	6066	6323	3521	2706	3037
	200	13076	11240	11747	10314	7894	9172	13136	11324	11783	25047	21920	23293
	500	30630	28037	28848	234738	144937	152123	30835	28273	29104	1270424	322627	801761
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5198	4213	4622	72	42	56	5220	4022	4601	144	94	113
	100	7838	6663	7189	1246	925	1070	7813	6656	7093	2950	2400	2634
	200	13620	11136	12528	11038	8921	9992	13506	10990	12453	26016	22462	23933
	500	30856	28421	29303	211538	154392	159904	31025	28745	29491	1243415	344449	429000
	avg	10667,00	9440,52	9942,62	47436,57	28240,00	30698,43	10692,95	9452,38	9988,86	219692,10	67468,67	127242,00

Tabla B.28: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1002	565	791	38	0	2	1000	565	779	9	1	1
	25	1998	1607	1815	17	4	7	1990	1526	1777	19	9	12
	50	3697	3013	3276	65	30	46	3740	2958	3230	114	69	88
	100	7006	6086	6458	380	267	324	7188	5964	6400	785	541	646
	200	14055	13138	13366	3270	2262	2816	13884	12959	13314	6342	4829	5521
	500	34052	32612	32962	96839	47856	61227	33906	32146	32788	278628	82408	99019
3	10	1225	782	1017	3	0	0	1242	771	1020	2	1	1
	25	2159	1675	1862	20	6	8	2192	1681	1849	17	11	14
	50	3964	3276	3625	69	46	54	3911	3216	3572	123	84	99
	100	7303	6174	6717	428	335	377	7313	6051	6679	773	616	686
	200	14376	12720	13357	3440	2702	3033	14465	12571	13302	6166	5282	5701
	500	34774	32386	33364	203719	46513	71541	34843	32476	33297	393013	84848	157736
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2941	2121	2575	14	7	9	2895	2147	2554	25	12	16
	50	4400	3672	3956	89	51	65	4283	3597	3922	142	99	116
	100	7657	6959	7236	530	376	455	7590	6876	7203	916	735	811
	200	15229	13200	13616	3891	2967	3372	15046	13144	13577	7041	5802	6325
	500	35534	32675	33677	165573	48439	58212	35557	32729	33552	441973	88662	173229
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5537	4571	5024	104	55	74	5506	4500	4987	177	114	136
	100	8763	7658	8086	679	488	570	8704	7542	8026	1091	860	970
	200	15756	13014	14485	4358	3277	3839	15505	12737	14363	7840	6442	7065
	500	35941	33562	34320	118083	53335	57513	35828	33309	34169	468304	96533	149105
	avg	12255,67	11022,19	11504,05	28648,05	9953,14	12549,71	12218,48	10926,90	11445,71	76833,33	17998,00	28918,90

Tabla B.29: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	967	541	772	22	0	2	970	540	751	12	2	3
	25	1868	1409	1668	17	10	13	1834	1415	1672	52	24	35
	50	3323	2658	2921	172	94	113	3368	2660	2905	362	237	289
	100	6178	5287	5654	1176	776	929	6201	5176	5645	2814	2195	2482
	200	12273	11076	11599	8825	6921	7715	12269	11225	11597	24352	18182	20852
	500	29469	27633	28333	194229	126971	137882	29662	27493	28418	921913	320425	432274
3	10	1314	771	1073	1	0	0	1331	788	1073	1	0	0
	25	2109	1612	1808	25	9	12	2042	1585	1778	44	24	32
	50	3572	2907	3300	158	100	121	3626	2907	3283	370	260	320
	100	6580	5339	5937	1091	870	982	6518	5410	5929	2891	2361	2601
	200	12721	10991	11600	8888	7705	8278	12663	10889	11644	22911	18737	20891
	500	30160	27834	28727	191203	129718	137514	30260	27919	28923	952481	315408	357320
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3327	2343	2836	3	1	1	3316	2276	2824	3	1	2
	50	4224	3703	3921	98	71	82	4178	3667	3891	241	160	195
	100	6979	6413	6609	1245	992	1097	6877	6299	6517	3223	2765	2961
	200	13242	11429	11929	9829	7977	9038	13361	11290	11922	24804	20452	22282
	500	30799	28113	28993	227358	140359	149628	30931	28397	29197	815229	325623	369842
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	6340	5004	5613	11	5	7	6327	4952	5586	17	8	11
	100	8704	7231	7970	846	618	739	8689	7268	7904	2203	1671	1886
	200	14250	11461	13055	10719	8516	9489	13975	11441	12860	27747	24061	25543
	500	31244	28837	29601	224612	152492	158252	31358	28939	29738	770047	361774	391718
avg	10935,38	9647,24	10186,62	41929,90	27819,29	29614,00	10940,76	9644,57	10193,19	170081,76	67350,95	78644,71	

Tabla B.30: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 2 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)

**B.2.3. Algoritmo 3 ( $p = 3$ )**

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	980	541	716	59	0	2	925	520	703	11	1	1
	25	2000	1579	1769	31	6	8	1910	1469	1758	21	10	13
	50	3626	3096	3244	84	33	52	3728	2954	3229	129	78	98
	100	7006	6164	6493	443	285	373	7038	6080	6456	839	633	723
	200	13970	12982	13347	4063	3080	3396	14168	12834	13386	7205	5641	6358
	500	34164	32317	33117	91180	55536	71256	34037	32400	33068	336332	99724	165501
2	10	860	587	750	14	0	1	853	587	744	2	1	1
	25	1935	1490	1675	15	6	8	1890	1447	1657	25	12	14
	50	3753	2973	3460	71	46	54	3738	3110	3456	120	85	99
	100	7300	6046	6616	471	347	395	7184	6040	6619	812	632	722
	200	14284	12727	13267	3813	3025	3407	14225	12630	13265	7059	5774	6330
	500	34898	32622	33415	265932	52647	79789	34910	32419	33351	589788	93540	240518
6	10	1151	653	911	2	0	1	1110	652	907	2	1	1
	25	2233	1506	1885	19	8	9	2190	1487	1859	27	13	16
	50	3726	3162	3471	75	50	60	3691	3200	3434	136	96	111
	100	7259	6578	6904	513	381	432	7262	6627	6888	901	738	801
	200	14787	12728	13321	3820	3035	3429	14757	12830	13300	7353	5764	6607
	500	35295	32294	33412	270615	53225	65360	35307	32449	33423	595939	99983	252790
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2547	1753	2099	19	8	11	2457	1687	2060	23	16	18
	50	4274	3378	3861	82	56	68	4258	3368	3823	157	109	128
	100	7914	6777	7195	566	430	484	7802	6777	7153	1015	811	927
	200	14937	12136	13788	4281	3373	3713	14840	12118	13739	7851	6529	7294
	500	35393	32765	33637	103291	53780	59779	35411	32840	33617	584982	105011	209856
avg	11056,17	9863,22	10363,17	32585,17	9972,04	12699,43	11030,04	9848,91	10343,26	93075,17	18487,04	39083,78	

Tabla B.31: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	907	478	674	9	1	1	914	499	685	19	2	3
	25	1798	1401	1617	31	11	15	1789	1339	1627	52	33	40
	50	3293	2650	2887	175	93	124	3338	2567	2865	390	281	325
	100	6165	5190	5620	1337	998	1135	6162	5268	5627	3471	2529	3000
	200	12205	11121	11556	10379	9013	9572	12327	11226	11668	25665	22151	23967
	500	29295	27523	28240	243074	153449	166464	29602	27932	28584	1073207	360768	511995
2	10	840	559	724	28	1	2	832	559	717	12	2	3
	25	1786	1338	1535	26	12	15	1759	1343	1525	61	35	40
	50	3375	2751	3106	144	100	124	3411	2787	3115	391	289	329
	100	6366	5148	5784	1227	906	1083	6412	5293	5817	3291	2455	2860
	200	12428	10871	11472	10464	8662	9397	12597	10962	11574	25501	21335	23257
	500	29929	27635	28600	250775	146885	163202	30284	28091	28967	808547	359791	395068
6	10	1091	705	916	4	0	1	1072	624	898	3	2	2
	25	2121	1366	1773	30	14	17	2075	1376	1748	58	41	45
	50	3368	2872	3123	175	122	144	3379	2866	3118	417	311	356
	100	6432	5846	6084	1370	1069	1214	6439	5821	6104	3520	2825	3126
	200	12860	11048	11532	11007	8952	9911	13013	11130	11611	26422	21909	24212
	500	30439	27810	28667	258424	152789	160897	30665	28097	28995	866083	339386	385061
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2505	1669	2087	17	10	13	2411	1653	2013	43	32	36
	50	3972	3069	3564	170	126	147	3909	3073	3509	399	308	362
	100	6999	5985	6377	1507	1112	1288	6979	6033	6383	3413	2832	3117
	200	13015	10606	11988	11184	9103	10012	13075	10685	12039	25678	22126	23772
	500	30432	28137	28878	258150	157172	167848	30715	28412	29148	1298511	342488	385890
avg	9635,70	8512,09	8991,48	46074,22	28286,96	30548,96	9702,57	8592,87	9058,13	181093,65	65301,35	77689,83	

Tabla B.32: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1003	529	742	62	0	2	1010	499	739	7	1	1
	25	1964	1547	1773	23	5	8	2053	1557	1777	39	9	13
	50	3744	2923	3277	70	37	49	3694	3030	3237	152	79	97
	100	7044	6142	6443	436	284	374	7013	6053	6434	793	582	685
	200	14028	13120	13420	3463	2612	3080	14111	13147	13424	6687	5677	6112
	500	34204	32500	33112	89518	47427	62840	34091	32589	33055	297082	90038	108017
2	10	937	649	805	3	0	0	910	624	785	2	1	1
	25	1950	1410	1715	23	6	8	1931	1483	1701	23	10	14
	50	3794	3173	3496	74	42	54	3840	3136	3476	122	87	103
	100	7334	6038	6660	445	332	379	7266	6025	6626	832	650	732
	200	14421	12605	13295	3565	2853	3198	14365	12695	13289	6821	5537	6057
	500	34689	32360	33383	202527	49387	71880	34919	32342	33441	424466	91270	126240
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2378	1589	2027	21	8	10	2363	1561	1995	26	14	16
	50	3885	3348	3571	79	52	65	3882	3301	3552	141	98	116
	100	7423	6776	7010	553	395	446	7397	6607	6984	951	709	818
	200	14938	12923	13416	3707	3132	3375	14886	12784	13389	7161	5916	6416
	500	35520	32685	33535	174337	49003	58883	35273	32655	33524	442237	93392	173044
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2916	2204	2529	18	9	11	2956	2142	2513	27	15	20
	50	4521	3629	4085	96	62	74	4462	3605	4037	159	109	134
	100	8048	6974	7394	662	440	519	8013	6920	7330	1058	868	955
	200	15058	12418	13950	4149	3256	3683	15127	12483	13908	7801	6415	6950
	500	35694	32840	33874	89123	52562	56507	35600	32981	33776	453630	96800	186156
avg	11613,32	10381,00	10886,91	26043,36	9632,00	12065,68	11598,27	10373,59	10863,27	75009,86	18103,50	28304,41	

Tabla B.33: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	971	523	733	19	1	2	954	507	706	13	2	3
	25	1796	1411	1614	23	11	15	1796	1432	1630	55	28	39
	50	3386	2595	2862	139	90	111	3356	2664	2908	380	251	303
	100	6134	5300	5635	1170	829	988	6246	5299	5658	3246	2539	2831
	200	12301	11129	11592	9847	8151	8830	12263	11175	11712	24863	20199	22866
	500	29293	27513	28229	218786	136833	149224	29698	27897	28558	1011404	342570	569095
2	10	934	623	778	4	1	1	924	621	770	7	2	2
	25	1817	1407	1585	19	12	15	1812	1394	1583	52	34	39
	50	3459	2812	3142	151	112	130	3492	2810	3144	379	273	327
	100	6407	5163	5819	1181	865	1036	6450	5282	5846	3065	2406	2789
	200	12430	10912	11519	9744	7791	8914	12552	10971	11594	24635	20541	22459
	500	30085	27823	28696	240474	140864	151109	30267	28051	28963	1210389	332353	423153
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2426	1542	2015	20	8	12	2267	1532	1951	54	27	33
	50	3571	3005	3302	157	112	137	3525	3021	3247	416	309	347
	100	6643	6010	6225	1339	1055	1188	6562	5951	6193	3541	2866	3102
	200	12969	11146	11632	10388	8578	9530	13028	11172	11693	26152	22111	23550
	500	30500	27721	28754	192798	144940	151313	30797	28192	29060	1140655	336000	400180
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3260	2396	2823	3	1	1	3273	2386	2821	3	1	1
	50	4513	3555	4042	124	86	104	4318	3450	3905	346	246	293
	100	7341	6313	6727	1438	1095	1261	7269	6171	6630	3664	3059	3312
	200	13278	10780	12234	11432	9272	10031	13269	10749	12229	27362	23726	25365
	500	30661	28232	29057	221121	146813	159744	31057	28397	29308	1030013	342486	388890
avg	10189,77	8995,95	9500,68	41835,32	27614,55	29713,45	10235,23	9051,09	9550,41	205031,55	66001,32	85862,68	

Tabla B.34: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)



Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1028	602	788	40	0	2	1009	585	772	18	1	1
	25	2044	1593	1813	24	5	8	1980	1558	1777	23	7	13
	50	3814	2955	3293	81	34	50	3523	2976	3239	133	76	96
	100	7048	6088	6455	445	291	359	7062	6080	6464	771	566	672
	200	14014	12876	13350	3913	2993	3308	14007	12980	13410	6825	5427	5921
	500	34068	32512	33065	128473	50247	75774	34463	32271	33128	335110	88955	103580
2	10	1094	693	872	6	0	1	1054	693	869	3	1	1
	25	2038	1557	1756	16	6	8	1989	1511	1737	23	11	14
	50	3828	3231	3534	76	42	57	3846	3198	3524	123	87	101
	100	7283	6206	6689	478	346	398	7284	6002	6667	833	669	738
	200	14450	12760	13341	3575	2894	3264	14359	12779	13311	6767	5385	6094
	500	34923	32443	33490	245345	49121	89487	34777	32530	33390	428474	91237	139504
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2640	1779	2253	18	8	10	2565	1709	2235	30	14	17
	50	4036	3465	3712	87	56	68	3964	3324	3660	160	101	119
	100	7485	6734	7112	533	405	451	7430	6790	7064	935	747	829
	200	15013	12980	13518	3941	3159	3520	14958	12887	13474	7232	5830	6479
	500	35446	32714	33623	200585	49562	75738	35367	32505	33583	406488	90819	133963
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	4906	4053	4502	105	62	79	4894	4010	4450	165	109	134
	100	8284	7201	7623	668	489	559	8115	7142	7534	1075	887	971
	200	15261	12654	14186	4431	3560	3938	15187	12628	14080	7842	6367	7083
	500	35755	33223	34018	198644	54631	65518	35696	33110	33939	472895	99151	207096
avg		12117,05	10872,33	11380,62	37689,71	10376,71	15361,76	12072,81	10822,29	11347,95	79805,95	18878,43	29210,76

Tabla B.35: Búsqueda multiarreglo - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1021	572	763	21	1	1	989	587	757	19	2	3
	25	1884	1391	1676	23	11	14	1853	1442	1649	52	31	40
	50	3311	2605	2925	158	92	113	3397	2617	2901	388	259	309
	100	6204	5271	5674	1145	803	969	6261	5201	5690	3157	2366	2682
	200	12239	11111	11541	9369	7482	8270	12275	11141	11658	25194	21413	22413
	500	29404	27324	28299	304413	127450	150554	29452	27965	28568	700588	343754	385595
2	10	1066	682	888	2	0	0	1059	682	860	3	1	2
	25	1921	1421	1651	29	12	15	1892	1482	1636	54	35	43
	50	3469	2846	3183	156	109	128	3502	2839	3185	390	296	334
	100	6440	5317	5882	1144	945	1028	6483	5280	5880	3290	2604	2820
	200	12479	10933	11542	9347	7776	8441	12597	11052	11623	25014	20732	22617
	500	30007	27957	28683	198069	128903	143910	30207	28114	28978	780339	348102	380081
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2763	1917	2376	9	4	6	2710	1900	2330	22	13	16
	50	3841	3348	3546	143	93	116	3758	3204	3436	397	283	335
	100	6706	6187	6382	1247	962	1089	6691	6121	6335	3435	2854	3144
	200	13132	11323	11776	9820	7824	8863	13194	11308	11802	25693	22355	23678
	500	30582	28108	28856	230221	131408	141640	30964	28201	29113	722511	346893	379944
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5263	4263	4738	62	34	45	5118	4141	4633	140	96	118
	100	7779	6766	7190	1188	870	1046	7586	6584	6987	3424	2825	3079
	200	13615	11132	12556	10240	8513	9213	13474	10956	12467	27456	24103	25657
	500	30864	28648	29295	252768	145207	157488	31068	28782	29490	717108	363150	392427
avg	10666,19	9482,00	9972,48	49027,33	27071,38	30140,43	10691,90	9504,71	9998,95	144698,76	71531,76	78349,38	

Tabla B.36: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	980	541	718	42	0	2	925	520	706	7	0	1
	25	1920	1579	1766	19	5	7	1910	1469	1755	25	10	13
	50	3688	3096	3242	72	33	51	3717	2954	3230	128	80	99
	100	7094	6164	6497	532	317	379	7134	6080	6461	860	614	729
	200	13928	12982	13347	4071	3108	3420	14168	12834	13385	7116	5856	6391
	500	34214	32317	33126	182122	52330	75246	33955	32400	33071	344409	96199	109546
3	10	928	645	792	3	0	1	916	630	782	3	1	1
	25	1980	1460	1697	16	6	8	1942	1503	1697	27	11	14
	50	3795	3118	3500	71	48	56	3830	3162	3473	122	86	103
	100	7266	6089	6662	478	353	404	7236	6088	6654	840	674	750
	200	14258	12787	13301	3874	3161	3449	14440	12668	13302	7262	5699	6455
	500	34773	32397	33380	256115	53308	93827	34727	32393	33379	464470	93432	166513
8	10	1206	770	1011	9	0	1	1211	793	1008	3	1	1
	25	2370	1599	1959	17	7	9	2288	1559	1928	19	13	16
	50	3888	3338	3557	78	51	62	3797	3326	3519	123	96	107
	100	7393	6725	6992	542	383	460	7355	6705	6956	937	735	822
	200	14913	12821	13403	4040	3014	3548	14738	12860	13358	7103	5653	6490
	500	35391	32670	33499	256483	53604	66534	35435	32441	33504	452697	94911	152073
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2740	1813	2295	19	9	11	2684	1936	2271	26	14	18
	50	4417	3600	4017	106	58	73	4414	3588	3987	165	113	130
	100	8033	6940	7356	561	423	499	7957	6882	7304	1005	796	887
	200	14991	12402	13956	4322	3448	3796	14984	12499	13895	7614	6427	7035
	500	35534	32786	33784	138534	54703	61724	35548	32920	33802	469443	99524	160714
avg	11117,39	9940,83	10428,57	37048,96	9929,09	13633,35	11100,48	9922,17	10409,87	76713,22	17867,17	26909,04	

Tabla B.37: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	907	478	679	12	1	1	914	499	683	10	2	3
	25	1851	1401	1623	19	8	13	1789	1339	1626	47	29	38
	50	3268	2650	2885	134	85	108	3310	2567	2869	386	260	313
	100	6188	5190	5615	1215	870	1025	6111	5268	5628	3057	2168	2607
	200	12205	11121	11552	9584	7692	8319	12327	11226	11672	24051	20086	21656
	500	29295	27523	28240	278025	133183	148097	29602	27932	28584	839778	327827	372679
3	10	918	618	767	26	1	1	931	580	759	15	2	3
	25	1838	1398	1577	19	12	15	1824	1362	1567	45	32	36
	50	3436	2816	3146	160	104	125	3428	2846	3141	348	267	291
	100	6432	5231	5813	1129	829	962	6504	5268	5841	3020	2315	2564
	200	12438	10948	11523	9556	7856	8530	12599	11008	11622	23684	19549	21401
	500	30046	27720	28637	223490	133472	145806	30352	28109	28971	842408	332556	366637
8	10	1272	815	1066	1	0	0	1239	820	1053	2	0	0
	25	2303	1475	1894	20	12	14	2197	1381	1839	45	35	39
	50	3465	2962	3216	161	108	128	3486	2966	3208	394	292	340
	100	6532	5900	6170	1267	899	1058	6547	5843	6174	3370	2652	2906
	200	12963	11142	11608	9880	7965	8783	12997	11221	11676	24858	20553	22294
	500	30463	27918	28752	245197	135773	146695	30840	28231	29062	590066	331581	355654
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2784	1985	2384	11	6	8	2777	1962	2330	28	18	22
	50	4260	3307	3802	157	109	125	4147	3250	3701	413	297	354
	100	7223	6154	6586	1400	1055	1181	7179	6138	6541	3525	2768	3115
	200	13165	10728	12146	10497	8420	9167	13183	10794	12192	26279	21416	23383
	500	30557	28321	29018	238552	142280	150877	31057	28432	29330	679406	341080	363361
	avg	9730,83	8600,04	9073,87	44804,87	25249,57	27436,43	9797,39	8654,00	9133,43	133271,09	61990,65	67812,87

Tabla B.38: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1003	529	746	36	0	2	1010	499	739	9	0	1
	25	1964	1547	1767	16	5	7	1959	1557	1773	24	9	13
	50	3744	2923	3281	70	35	49	3701	3030	3239	129	83	97
	100	7046	6142	6442	439	297	372	7056	6053	6431	783	597	685
	200	14054	13120	13419	3455	2681	3121	14111	13147	13423	6869	5774	6274
	500	34204	32500	33109	116353	50598	66301	34091	32589	33060	220927	92759	102440
3	10	1059	676	877	4	0	1	1077	645	872	2	1	1
	25	2020	1552	1776	28	6	8	2033	1492	1759	25	12	14
	50	3929	3190	3550	79	48	55	3846	3095	3529	129	86	106
	100	7342	6128	6699	455	337	403	7307	6083	6668	935	655	753
	200	14533	12747	13343	3683	2779	3218	14403	12592	13350	6968	5468	6215
	500	34972	32337	33416	220078	48865	81162	34886	32484	33451	449613	93212	272824
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2569	1752	2189	32	7	10	2550	1759	2169	27	12	16
	50	4018	3463	3714	82	55	67	4012	3380	3664	138	108	119
	100	7525	6853	7111	545	397	458	7481	6657	7074	921	732	831
	200	15097	12987	13547	3926	3126	3479	15055	12885	13499	7388	5900	6654
	500	35477	32728	33647	190339	48420	63692	35542	32424	33631	468913	93868	211256
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	4880	3897	4438	97	58	77	4748	3926	4346	168	113	136
	100	8380	7182	7634	647	478	543	8285	7132	7538	1156	897	1006
	200	15307	12792	14195	4279	3466	3847	15118	12782	14112	8210	6684	7256
	500	35873	33384	34094	146554	52919	58446	35718	32896	34011	482028	99969	215911
avg		12142,67	10877,57	11380,67	32914,14	10217,95	13586,57	12094,71	10814,62	11349,43	78826,76	19378,05	39648,00

Tabla B.39: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	980	523	732	69	0	3	954	507	707	20	2	3
	25	1796	1411	1621	21	11	15	1800	1432	1630	53	31	38
	50	3386	2595	2860	140	94	114	3356	2664	2908	341	233	282
	100	6133	5300	5629	1173	837	1022	6285	5299	5658	2881	2214	2511
	200	12301	11129	11591	10044	8220	8931	12322	11175	11712	22436	18149	20442
	500	29293	27513	28240	268011	124284	152452	29749	27897	28568	596138	311194	367179
3	10	1089	665	899	2	0	0	1029	665	876	3	1	1
	25	1936	1423	1662	23	12	13	1914	1456	1631	50	33	39
	50	3513	2871	3215	137	94	115	3499	2864	3189	368	277	322
	100	6485	5215	5882	1107	882	977	6490	5245	5889	3061	2341	2661
	200	12529	10976	11571	9408	7676	8388	12670	10917	11663	23216	18301	20703
	500	30101	27891	28734	359050	126753	140430	30408	28063	29038	518884	315158	339032
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2632	1796	2264	10	6	8	2596	1781	2219	38	17	20
	50	3763	3267	3479	162	104	124	3705	3131	3402	370	284	325
	100	6728	6136	6363	1243	944	1073	6666	6032	6312	3315	2599	2949
	200	13114	11300	11769	9757	8050	8732	13201	11251	11800	24777	20287	22185
	500	30707	28040	28890	184031	128575	138559	30946	28357	29160	678355	316731	344822
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5058	4123	4576	75	53	62	4996	3999	4444	196	143	169
	100	7750	6701	7098	1170	944	1040	7595	6558	6928	3373	2672	3015
	200	13656	11062	12514	10400	8553	9235	13570	11113	12463	26687	22211	24024
	500	30965	28667	29329	335010	139248	150995	31123	28758	29550	1076706	309032	403387
avg	10662,62	9457,33	9948,48	56716,33	26444,76	29632,76	10708,29	9484,00	9987,95	141965,14	63900,48	74005,19	

Tabla B.40: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1028	602	789	41	0	2	1009	585	771	6	1	1
	25	2031	1593	1819	14	4	7	1979	1558	1784	19	8	12
	50	3813	2955	3289	85	36	50	3715	2976	3242	126	80	96
	100	7048	6088	6434	414	286	345	7132	6080	6467	772	565	668
	200	14111	12876	13357	3672	2917	3168	14139	12980	13415	6616	5329	5917
	500	33960	32512	33064	76349	48611	60997	34393	32271	33124	241279	86614	100531
3	10	1245	771	1023	3	0	0	1263	782	1012	2	1	1
	25	2136	1658	1849	17	6	9	2113	1605	1825	23	12	15
	50	3969	3277	3627	74	47	57	3899	3264	3588	126	94	108
	100	7433	5964	6747	471	353	398	7363	6070	6718	834	687	741
	200	14466	12683	13377	3698	2772	3245	14430	12753	13377	6737	5235	6171
	500	34935	32627	33486	255543	47156	89694	35011	32451	33511	429294	91402	264581
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2914	2127	2565	17	7	9	2921	2073	2550	23	13	16
	50	4290	3571	3898	99	58	70	4174	3605	3852	146	108	124
	100	7645	6985	7258	630	426	496	7660	6866	7201	973	747	863
	200	15207	13200	13664	4125	3223	3654	15110	13018	13616	7313	6062	6779
	500	35525	32845	33753	256440	50453	74417	35649	32968	33716	475079	94240	292871
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5519	4511	5030	113	55	78	5495	4427	4973	178	102	133
	100	8704	7525	7938	714	494	589	8470	7503	7838	1139	903	1008
	200	15619	13078	14483	4529	3707	4098	15459	12873	14353	8285	6777	7524
	500	35953	33572	34334	131319	53880	60526	36029	33477	34240	479407	99360	275923
avg	12264,33	11000,95	11513,52	35160,33	10213,86	14376,62	12257,76	10961,19	11484,43	78970,33	18968,57	45908,71	

Tabla B.41: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	1054	572	763	10	1	1	988	587	759	17	2	3
	25	1886	1391	1679	21	11	14	1853	1442	1648	64	29	39
	50	3311	2605	2926	155	99	123	3429	2617	2898	388	262	321
	100	6204	5271	5675	1218	874	1047	6261	5201	5692	3315	2542	2849
	200	12239	11111	11545	9788	8326	8942	12275	11141	11654	26745	20734	22892
	500	29404	27324	28294	381421	141939	180629	29727	27965	28566	776906	341292	388672
3	10	1314	771	1075	1	0	0	1281	788	1065	1	0	0
	25	2089	1573	1778	22	12	14	2054	1523	1739	53	33	38
	50	3616	2900	3286	169	109	139	3623	2924	3277	407	309	347
	100	6573	5339	5958	1247	998	1095	6560	5215	5947	3253	2688	2880
	200	12593	10988	11620	10421	8515	9418	12648	11049	11689	25335	21296	22877
	500	30125	27707	28734	291270	145551	160988	30295	28010	29027	1058331	347635	384795
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3321	2198	2821	3	1	1	3198	2310	2830	4	1	1
	50	4196	3545	3844	123	76	99	4051	3446	3707	343	237	285
	100	7036	6326	6602	1322	976	1175	6886	6186	6518	3627	2862	3174
	200	13314	11474	11953	11063	9298	10104	13346	11412	11927	27156	22876	24644
	500	30832	28123	29020	221870	149607	156797	31006	28412	29252	1288568	316531	749312
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	6288	5070	5613	16	4	7	6236	5062	5592	12	6	9
	100	8418	7358	7786	1004	756	881	8235	7032	7523	2576	2019	2268
	200	14198	11476	13031	11131	9447	10158	13995	11426	12854	24498	21286	22696
	500	31291	28848	29612	233934	159776	169156	31439	28928	29767	739801	317881	349334
avg	10919,14	9617,62	10172,14	56009,95	30303,62	33847,05	10923,14	9651,24	10187,19	189590,48	67643,86	94163,62	

Tabla B.42: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 3 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)



**B.2.4. Algoritmo 4**

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
		Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
k	n	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	929	471	709	35	1	2	920	466	702	9	1	1
	25	1932	1434	1739	19	6	8	1914	1431	1729	29	11	13
	50	3740	2886	3215	80	43	53	3709	2913	3210	121	91	103
	100	7015	5930	6392	459	324	388	6935	5966	6404	826	686	748
	500	14221	12683	13324	3880	3007	3357	14122	12842	13334	7128	6091	6573
2	10	844	637	749	17	1	1	825	646	747	14	1	1
	25	1909	1400	1655	20	6	8	1903	1395	1645	26	12	14
	50	3732	3118	3449	71	48	56	3735	3002	3443	135	95	107
	100	7250	5974	6615	497	350	407	7263	5902	6604	866	684	770
	500	14158	12551	13258	3792	3058	3420	14271	12512	13257	7546	6005	6709
6	10	1182	826	1016	5	1	1	1182	808	1012	3	2	2
	25	2211	1457	1843	20	9	11	2190	1480	1834	24	16	19
	50	3691	3197	3408	96	57	69	3730	3208	3401	139	108	122
	100	7238	6549	6868	524	421	466	7353	6577	6861	920	742	806
	500	14669	12627	13232	4089	3239	3659	14604	12716	13240	7084	5642	6440
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2526	1894	2162	28	15	17	2559	1881	2142	34	23	27
	50	4197	3363	3817	112	72	88	4172	3278	3806	176	138	154
	100	7816	6580	7097	619	486	551	7761	6633	7085	1098	890	975
	500	14731	12084	13649	4453	3400	3894	14915	12112	13664	7897	6396	7139
avg	11022,35	9766,70	10312,91	39772,09	9976,57	14859,78	11006,30	9787,61	10315,70	83884,39	18582,04	39901,57	

Tabla B.43: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	880	466	690	11	1	1	884	466	681	9	2	3
	25	1788	1341	1600	24	12	15	1786	1344	1603	45	33	36
	50	3401	2537	2859	135	105	116	3352	2597	2872	322	261	285
	100	6154	5144	5577	1154	902	1008	6184	5158	5611	2649	2106	2350
	200	12228	10887	11514	8978	7410	8253	12325	11023	11623	21629	18124	19430
	500	29466	27287	28190	194632	128969	139655	29701	27629	28534	925845	296972	558749
2	10	817	628	723	14	1	1	810	615	722	11	3	3
	25	1771	1312	1524	21	14	16	1775	1292	1520	46	36	40
	50	3383	2736	3090	136	103	120	3379	2752	3101	336	282	305
	100	6364	5231	5786	1095	816	996	6471	5297	5823	2888	2250	2559
	200	12449	10797	11456	8873	7509	8189	12611	10881	11567	22009	17789	19773
	500	30029	27716	28593	167810	130720	139533	30221	27906	28910	484533	304356	335892
6	10	1182	808	1015	2	1	1	1198	808	1008	4	2	2
	25	2072	1366	1731	23	15	19	2049	1397	1728	50	40	45
	50	3334	2806	3051	161	123	141	3363	2771	3063	390	313	343
	100	6452	5785	6043	1283	1001	1113	6426	5777	6073	3077	2603	2781
	200	12755	10971	11460	9635	7521	8580	12936	11107	11557	23154	18843	20959
	500	30393	27738	28612	158710	129539	138161	30698	28075	28926	479586	303147	334715
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2476	1862	2120	25	16	20	2489	1842	2098	51	36	42
	50	3843	3091	3490	190	144	165	3817	2974	3472	434	316	377
	100	6970	5791	6263	1430	1165	1277	6973	5897	6294	3286	2604	2984
	200	12890	10286	11856	10233	8425	9165	12978	10505	11947	23813	20456	22358
	500	30268	27996	28733	161553	138779	144839	30667	28083	29072	515335	318928	347698
avg	9624,57	8460,09	8955,48	31570,78	24490,91	26147,13	9699,70	8530,26	9035,00	109108,78	56934,87	72683,87	

Tabla B.44: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	958	482	736	37	0	1	953	487	729	9	1	1
	25	1943	1521	1759	13	5	7	1973	1468	1757	24	11	13
	50	3792	2914	3232	69	39	48	3747	2831	3225	122	82	93
	100	7008	5904	6424	388	291	336	7076	5856	6421	743	599	666
	200	14015	12731	13350	3365	2773	2994	14080	12740	13343	6495	5454	5877
	500	34125	32057	32966	163951	46763	68654	34235	32064	32984	289287	86233	96997
2	10	977	741	846	3	1	1	973	727	842	3	1	1
	25	2033	1439	1716	19	6	8	1979	1447	1707	21	12	14
	50	3766	3121	3504	68	45	54	3751	3145	3496	115	85	99
	100	7354	6100	6673	419	305	368	7287	6094	6677	776	631	689
	200	14404	12505	13318	3461	2673	3006	14404	12608	13326	6502	5238	5747
	500	34907	32369	33422	212178	46482	79681	34839	32374	33405	465525	86439	178640
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2605	1893	2192	20	10	12	2566	1847	2180	25	17	20
	50	4025	3408	3637	95	63	72	4017	3470	3628	157	117	132
	100	7503	6728	7073	568	398	455	7515	6772	7066	941	781	843
	200	14836	12915	13408	3661	2960	3348	14872	12885	13422	6972	5776	6341
	500	35308	32457	33471	234477	47736	62851	35423	32731	33536	469799	91298	153027
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4025	3252	3533	15	5	6	4025	3252	3531	23	7	8
	50	4995	4118	4548	115	78	96	4940	4091	4534	203	155	175
	100	8304	7035	7564	711	530	598	8231	7001	7565	1252	1016	1090
	200	15098	12446	14035	4402	3617	3923	15180	12557	14053	7974	6797	7355
	500	35380	33029	33797	163853	50756	58923	35270	33097	33843	504746	95539	170762
avg	11698,23	10416,59	10963,82	35994,91	9342,55	12974,64	11697,09	10433,82	10966,82	80077,91	17558,59	28572,27	

Tabla B.45: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	906	465	715	19	1	1	902	465	710	21	2	3
	25	1813	1323	1623	20	11	14	1806	1352	1622	52	33	37
	50	3355	2566	2879	134	98	115	3405	2554	2898	316	241	268
	100	6180	5214	5604	1142	875	1003	6165	5211	5635	2655	2080	2327
	200	12241	10981	11542	8892	7840	8208	12408	11058	11635	21003	17517	19223
	500	29403	27290	28209	195813	126027	140650	29737	27559	28549	601649	300515	325575
2	10	940	731	830	2	1	1	935	730	829	5	2	3
	25	1849	1342	1574	28	14	17	1863	1359	1576	45	33	38
	50	3411	2796	3147	137	103	114	3432	2782	3155	378	262	311
	100	6466	5273	5836	1091	836	928	6465	5344	5866	2782	2246	2495
	200	12559	10848	11511	8865	7463	8011	12604	10949	11607	21963	18126	19790
	500	29971	27514	28657	318073	125496	140363	30348	27945	28960	688290	306102	335940
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2583	1851	2147	22	12	15	2589	1827	2130	48	32	37
	50	3696	3106	3321	168	124	144	3658	3102	3309	406	298	357
	100	6681	5965	6244	1331	1026	1145	6670	5935	6264	3401	2652	2934
	200	12858	11189	11600	9533	7644	8572	13042	11248	11700	23291	19481	20939
	500	30517	27866	28776	203761	129269	137135	30801	28340	29081	746388	309660	342495
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4023	3252	3533	6	4	4	4016	3252	3533	7	4	5
	50	4878	3935	4393	164	113	129	4763	3957	4355	356	259	299
	100	7442	6324	6845	1552	1125	1288	7439	6346	6803	3551	2882	3211
	200	13303	10812	12266	10299	8835	9520	13270	10796	12314	25121	21389	23018
	500	30483	28198	29063	242920	134782	142518	30827	28592	29381	1057098	320637	353255
avg	10252,64	9038,23	9559,77	45635,09	25077,23	27267,95	10324,77	9122,86	9632,36	145401,18	60202,41	66025,45	

Tabla B.46: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	994	515	778	58	1	1	973	508	772	8	1	1
	25	2005	1511	1784	24	6	8	1982	1526	1775	26	12	15
	50	3794	2912	3256	70	41	50	3788	2879	3256	129	98	111
	100	7124	5930	6451	452	311	366	7084	6053	6447	870	686	762
	200	14112	12592	13346	3411	2770	3118	14116	12757	13379	6771	5287	6172
	500	34187	32237	32990	105012	49640	64786	34262	32041	33009	348011	92044	156453
2	10	1144	866	990	10	1	1	1132	853	986	3	1	1
	25	2133	1494	1792	15	7	9	2068	1490	1777	21	15	17
	50	3863	3142	3569	76	51	61	3853	3143	3565	135	105	118
	100	7386	6065	6717	481	350	407	7367	6125	6719	850	678	759
	200	14504	12583	13360	3675	2985	3253	14372	12681	13370	7093	5713	6316
	500	34843	32411	33443	207420	48507	81994	34958	32555	33463	338071	93767	116381
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3201	2427	2762	21	9	11	3171	2433	2754	23	17	19
	50	4420	3719	3923	102	74	86	4401	3772	3928	180	140	157
	100	7786	6991	7310	630	442	530	7825	6920	7302	1165	906	1008
	200	14978	13073	13586	4204	3285	3727	14981	13122	13612	7954	6610	7212
	500	35567	32634	33646	204619	51200	68518	35669	32776	33698	413270	98158	212543
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	6253	5182	5717	106	73	87	6223	5166	5699	185	141	162
	100	8945	7585	8202	862	620	717	8936	7683	8167	1548	1229	1353
	200	15698	12881	14501	5149	4168	4525	15712	12856	14489	9707	7787	8650
	500	35701	33431	34140	145008	57584	63449	35693	33396	34194	433293	106752	156552
avg		12316,10	10961,00	11536,33	32447,86	10577,38	14081,14	12312,67	10987,38	11541,00	74729,19	20007,00	32131,52

Tabla B.47: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	959	501	759	13	1	1	929	501	749	20	2	3
	25	1835	1390	1646	23	12	15	1810	1378	1647	48	33	38
	50	3406	2523	2907	135	94	113	3420	2597	2920	349	260	290
	100	6211	5187	5631	1185	884	1033	6187	5267	5661	2941	2221	2560
	200	12322	11026	11564	9233	7660	8329	12380	11077	11671	22951	18989	20720
	500	29542	27389	28227	263101	128631	156722	29775	27708	28576	628611	313753	360329
2	10	1135	861	987	2	0	1	1138	853	983	3	2	2
	25	1948	1407	1656	28	14	18	2015	1431	1653	59	35	41
	50	3541	2822	3209	145	111	124	3513	2827	3223	414	281	318
	100	6609	5326	5882	1171	910	1019	6526	5382	5928	3221	2282	2735
	200	12571	10938	11565	9528	7738	8510	12678	11018	11653	23706	19332	20953
	500	30012	27871	28709	389678	130214	143182	30351	28116	29030	767627	319607	350868
6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	3218	2469	2781	17	6	8	3210	2432	2758	24	16	19
	50	4081	3519	3693	172	121	144	4063	3451	3650	391	293	338
	100	6966	6190	6505	1426	1062	1212	6959	6190	6495	3618	2698	3109
	200	13193	11360	11816	10839	8393	9467	13212	11404	11864	25155	20576	22832
	500	30651	28072	28898	231414	135432	145390	31058	28248	29252	569310	326824	347909
12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	6272	5161	5719	90	54	66	6212	5167	5678	164	124	142
	100	8354	7067	7606	1529	1077	1287	8259	7065	7553	3511	2863	3141
	200	13901	11192	12777	11772	9595	10625	13804	11138	12790	27814	22903	24935
	500	30766	28679	29399	230466	145534	157833	31098	28858	29702	936428	316525	354179
	avg	10833,00	9569,05	10092,19	55331,76	27502,05	30719,00	10885,57	9624,19	10163,62	143636,43	65219,95	72164,81

Tabla B.48: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 25 % de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	919	466	707	42	1	2	913	466	699	9	1	1
	25	1930	1487	1735	20	6	8	1931	1425	1730	22	12	13
	50	3714	2884	3220	77	44	54	3737	2920	3208	121	92	103
	100	6985	5967	6400	479	339	386	6966	5943	6386	821	673	743
	200	14126	12780	13314	3903	3078	3442	14097	12777	13325	7237	5846	6582
	500	34373	32111	32910	118213	54831	77343	34246	32327	33004	203304	99265	105751
3	10	895	672	794	15	1	1	870	684	787	4	1	1
	25	1946	1400	1688	18	7	9	1956	1399	1681	20	13	15
	50	3740	3031	3468	72	49	60	3751	3056	3465	130	99	113
	100	7292	6076	6639	482	382	427	7292	6058	6642	876	707	785
	200	14404	12620	13271	3909	3132	3533	14392	12741	13292	7284	5734	6574
	500	34785	32295	33342	280248	53614	96902	34788	32480	33375	485306	100663	151185
8	10	1429	1013	1241	10	1	2	1438	1013	1240	3	2	2
	25	2303	1623	1943	27	10	13	2267	1627	1933	26	18	21
	50	3811	3264	3478	87	59	72	3819	3190	3476	156	119	134
	100	7340	6586	6938	577	443	489	7310	6513	6939	1040	808	904
	200	14715	12729	13299	4298	3215	3753	14713	12783	13305	7745	6136	7056
	500	35335	32449	33398	287193	53960	65759	35292	32467	33439	532139	102435	197006
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2919	2259	2502	23	17	19	2903	2238	2487	44	26	29
	50	4388	3640	4034	126	84	100	4380	3588	4015	205	159	179
	100	7922	6668	7240	698	517	601	7910	6784	7219	1233	956	1104
	200	14850	12255	13781	4561	3761	4059	14898	12148	13766	8524	7069	7771
	500	35089	32631	33569	108248	55623	61488	35204	32722	33633	554576	103782	136864
avg		11096,09	9865,48	10387,43	35362,00	10138,00	13848,78	11090,13	9884,74	10393,30	78731,52	18896,35	27084,17

Tabla B.49: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	888	471	688	11	1	1	880	466	681	9	3	3
	25	1789	1303	1602	21	13	15	1793	1354	1607	50	36	41
	50	3340	2540	2857	146	105	123	3403	2542	2870	432	288	325
	100	6161	5184	5580	1280	898	1056	6195	5206	5609	3088	2618	2842
	200	12223	10916	11504	9940	8214	9035	12299	11033	11614	25349	22054	23366
	500	29457	27091	28196	236911	145547	154739	29690	27712	28526	500618	369153	427413
3	10	867	672	765	15	1	2	872	670	767	10	3	3
	25	1808	1337	1546	23	15	18	1795	1310	1540	59	36	45
	50	3375	2766	3115	180	112	138	3410	2751	3129	408	309	345
	100	6406	5254	5805	1378	1021	1154	6488	5276	5848	3228	2654	2882
	200	12495	10877	11490	10654	8945	9665	12580	10972	11591	25714	21673	23818
	500	29910	27582	28605	281674	153321	163137	30339	27981	28975	1183418	340942	407943
8	10	1444	1013	1247	3	1	1	1435	1013	1240	3	1	1
	25	2197	1508	1846	31	16	20	2214	1497	1836	61	38	46
	50	3440	2896	3135	184	137	160	3432	2923	3128	432	314	351
	100	6502	5789	6104	1447	1105	1268	6495	5808	6137	3338	2607	2954
	200	12820	10990	11510	11126	9039	10048	12954	11060	11596	24946	20709	22735
	500	30306	27625	28663	211655	152174	160851	30870	28136	28989	821878	334604	360132
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2896	2241	2497	24	17	19	2891	2251	2480	40	27	31
	50	4126	3329	3745	216	158	181	4066	3267	3710	444	345	376
	100	7097	5969	6443	1663	1352	1487	7075	6042	6441	3634	2979	3273
	200	13074	10451	11968	11897	10023	10828	13143	10533	12068	26558	22142	24135
	500	30311	28042	28819	232065	158049	166152	30652	28416	29156	1065000	335539	378985
	avg	9692,70	8515,04	9031,74	44023,65	28272,35	30004,26	9781,35	8618,22	9110,35	160379,00	64307,57	73132,39

Tabla B.50: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 1 vehículo (II)



Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	964	484	737	38	0	2	962	479	731	8	1	1
	25	1973	1471	1762	31	6	8	1927	1478	1749	21	11	13
	50	3746	2916	3235	75	41	50	3770	2874	3231	119	88	100
	100	7022	5933	6411	419	311	357	7088	5944	6414	802	650	722
	200	14178	12756	13351	3432	2750	3081	14068	12679	13345	6870	5730	6150
	500	34241	32200	32948	114803	49886	70407	34081	32065	32978	339141	91339	104322
3	10	1170	879	991	3	1	1	1142	858	986	11	1	1
	25	2065	1450	1781	13	7	9	2090	1507	1774	40	14	16
	50	3869	3183	3574	77	52	62	3940	3191	3564	134	97	114
	100	7342	6218	6724	469	353	409	7266	6117	6718	855	709	771
	200	14452	12702	13360	3566	2916	3190	14444	12760	13378	6894	5652	6244
	500	34863	32242	33441	226485	48795	87244	34958	32325	33441	456381	95499	155689
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2946	2197	2540	17	10	12	2967	2221	2533	26	18	21
	50	4272	3626	3831	104	71	81	4235	3560	3812	174	134	151
	100	7643	6963	7215	589	419	515	7618	6956	7200	1090	890	974
	200	15014	12963	13531	4118	3178	3587	14986	13029	13531	7933	6688	7151
	500	35472	32801	33616	247996	50778	72301	35432	32861	33665	490019	97418	138464
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5789	4744	5268	115	86	97	5749	4760	5241	197	152	170
	100	8644	7462	7974	852	619	699	8706	7430	7970	1361	1170	1243
	200	15418	12672	14350	4822	3772	4357	15482	12839	14374	8806	7684	8088
	500	35687	33172	34031	194492	55231	66811	35484	33215	34050	494627	103390	131595
avg		12227,14	10906,38	11460,52	38215,05	10442,00	14918,10	12209,29	10911,81	11461,19	86452,81	19873,10	26761,90

Tabla B.51: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	945	465	715	13	1	1	918	465	711	21	2	3
	25	1826	1353	1622	27	12	15	1830	1332	1621	57	35	42
	50	3394	2525	2877	144	107	119	3408	2535	2889	382	291	325
	100	6189	5111	5604	1162	952	1033	6266	5208	5644	3194	2626	2864
	200	12222	11034	11554	9364	7954	8501	12325	11078	11637	25212	21456	23432
	500	29344	27341	28212	195746	141474	148906	29618	27632	28516	783691	339525	391702
3	10	1130	853	989	3	1	1	1148	853	984	4	2	2
	25	1982	1443	1664	24	15	19	1968	1425	1649	64	35	46
	50	3480	2801	3206	180	127	146	3465	2846	3211	427	314	369
	100	6509	5330	5890	1310	1064	1169	6526	5339	5928	3344	2763	2969
	200	12564	10939	11578	10246	8658	9417	12676	11114	11669	25800	20829	23139
	500	30082	27757	28702	166330	147082	154909	30461	28009	29039	890676	349054	387256
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2999	2225	2547	17	8	12	2989	2233	2528	42	22	27
	50	3916	3325	3556	194	131	158	3918	3330	3533	427	328	372
	100	6833	6122	6419	1501	1175	1334	6809	6068	6411	3714	2946	3341
	200	13033	11317	11735	11384	9121	10415	13119	11307	11817	26981	22539	24875
	500	30632	28026	28882	213282	151072	158186	30867	28345	29201	1133667	324694	374534
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5719	4736	5236	126	87	102	5659	4698	5187	239	183	205
	100	7990	6903	7339	1611	1276	1448	8050	6850	7274	3441	2858	3092
	200	13652	11049	12601	12930	10604	11446	13806	11074	12636	26101	23110	24408
	500	30686	28547	29287	273525	163373	170597	31119	28653	29599	1048091	330970	362903
	avg	10720,33	9485,81	10010,24	42815,19	30680,67	32282,57	10806,90	9542,57	10080,19	189313,10	68789,62	77424,10

Tabla B.52: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 2 vehículos (II)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primer mejor intercambio						Búsqueda local mejor intercambio					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	988	501	778	39	1	2	987	501	773	7	1	1
	25	1994	1527	1781	13	6	8	1970	1528	1776	20	11	14
	50	3787	2975	3270	71	41	53	3773	2870	3257	146	87	101
	100	7089	5970	6452	420	304	359	7071	6044	6437	805	645	704
	200	14115	12701	13362	3534	2751	3168	14124	12847	13394	6647	5499	6067
	500	34255	32240	32951	99268	50950	68749	34164	32225	33000	186820	91451	97753
3	10	1546	1163	1316	9	1	1	1546	1163	1315	2	0	0
	25	2322	1599	1931	23	9	11	2306	1598	1910	23	15	18
	50	3931	3236	3684	79	56	66	3952	3276	3666	149	109	122
	100	7471	6306	6813	532	368	432	7504	6176	6817	897	756	803
	200	14545	12850	13459	3710	3041	3353	14487	12685	13451	7135	5801	6414
	500	34933	32656	33511	213047	49522	79184	34947	32380	33487	438390	93358	134501
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4052	3255	3602	13	3	4	4068	3255	3600	8	4	5
	50	4837	4069	4318	110	80	94	4799	4073	4293	196	148	168
	100	8084	7278	7556	676	500	580	8047	7259	7557	1201	957	1072
	200	15171	13261	13792	4504	3527	3967	15220	13242	13808	8387	6703	7498
	500	35756	32937	33851	230670	52093	66520	35759	32926	33886	438284	97021	183405
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	8012	6895	7413	39	20	25	8007	6895	7408	52	32	40
	100	9737	8409	8984	899	700	802	9742	8307	8947	1606	1340	1452
	200	16116	13500	15037	5599	4535	4996	16243	13383	15026	10466	8576	9410
	500	36029	33791	34545	126115	58347	64532	36050	33692	34519	526672	111338	150317
avg		12608,10	11291,38	11828,86	32827,14	10802,62	14138,38	12607,90	11253,57	11825,10	77519,67	20183,43	28565,00

Tabla B.53: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (I)

Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4													
k	n	Búsqueda local primera mejor reinserción						Búsqueda local mejor reinserción					
		Valor objetivo			Tiempo (ms)			Valor objetivo			Tiempo (ms)		
		max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
1	10	962	501	755	16	1	1	959	501	750	24	3	3
	25	1824	1408	1644	27	13	17	1828	1374	1646	60	37	42
	50	3410	2570	2910	162	108	126	3425	2608	2915	397	284	335
	100	6209	5213	5636	1245	979	1090	6213	5220	5660	3160	2453	2796
	200	12298	11038	11559	10278	8605	9163	12346	11044	11665	24348	20782	22380
	500	29395	27341	28233	280111	143010	167845	29741	27576	28579	854747	338120	400608
3	10	1546	1163	1317	1	0	0	1546	1163	1316	1	0	0
	25	2191	1563	1836	27	14	18	2193	1575	1817	54	37	44
	50	3603	2971	3330	184	129	151	3605	2928	3334	418	328	375
	100	6572	5397	5972	1359	1071	1192	6652	5437	5999	3280	2790	3014
	200	12644	11021	11657	10518	8828	9622	12838	11115	11769	25027	21517	23305
	500	30111	27781	28779	220447	145636	154195	30470	28119	29100	859028	323476	375010
8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4068	3255	3603	3	1	2	4068	3255	3602	4	2	2
	50	4584	3927	4170	162	104	131	4593	3898	4117	357	257	293
	100	7336	6519	6828	1608	1188	1385	7206	6527	6801	3637	2841	3116
	200	13390	11527	12004	11701	10116	10638	13415	11608	12063	26056	21655	23757
	500	30852	28003	29112	304393	149901	157313	31344	28499	29409	1098574	325754	368670
16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	8011	6897	7416	22	11	13	8004	6899	7412	25	15	17
	100	9367	8046	8621	1417	1057	1200	9240	7966	8523	3080	2447	2702
	200	14483	11634	13420	12595	10282	11596	14415	11733	13369	27886	23748	25765
	500	31230	29000	29804	273415	168849	173685	31484	29192	30074	1211074	326093	512373
avg	11146,95	9846,43	10409,81	53794,81	30947,76	33303,95	11218,33	9916,05	10472,38	197201,76	67268,52	84028,90	

Tabla B.54: Búsqueda multiarranque - Algoritmo 4 - 33% de puntos de reparto de ayuda y 3 vehículos (II)

### **B.3. Variable Neighbourhood Search**

Variable Neighbourhood Search (K\_MAX 10% de víctimas)

k	n	1 vehículo			2 vehículos			3 vehículos															
		Valor objetivo	Tiempo (ms)	Valor objetivo	Tiempo (ms)	Valor objetivo	Tiempo (ms)	Valor objetivo	Tiempo (ms)														
		min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max										
1	10	1011	509	741	14	0	1	1048	531	788	1	0	0	823	569	1120	1248	718	945	1809	1	0	0
	25	1976	1464	1779	17	1	4	2015	1491	1796	9	1	3	2088	1531	2088	1545	1809	1821	1531	9	1	3
	50	3694	2851	3204	106	20	40	3774	2897	3229	97	23	41	3736	2947	3736	3019	3173	3241	2947	87	20	38
	100	6917	5898	6352	1423	286	601	6959	5920	6362	1390	357	624	6969	5963	6969	6067	6638	6395	5963	1395	334	564
	500	33814	31609	32613	1153790	243259	429577	33776	31890	32639	1172739	232668	409576	33773	31881	32649	897073	237427	385630				
2	10	958	600	799	1	0	0	1114	614	866	1	0	0	1248	718	1248	1545	1809	1821	1531	9	1	3
	25	2011	1427	1708	9	1	3	2020	1496	1749	7	1	3	2118	1545	2118	1545	1809	1821	1531	9	1	3
	50	3773	3128	3474	117	22	40	3833	3194	3504	95	20	44	3919	3173	3919	3173	3551	3551	113	21	44	
	100	7214	5951	6576	1248	355	664	7250	5992	6610	1637	359	680	7278	6067	7278	6067	6638	6638	1574	380	710	
	500	34422	31858	33045	835328	245376	418017	34616	32037	33086	811403	250610	424093	34448	32161	33128	751292	250450	379838				
6	10	1385	760	982	2	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	2347	1434	1937	11	1	3	2550	1746	2138	14	2	4	2766	1850	2766	1850	2360	1850	13	1	4	
	50	3799	3275	3493	105	22	46	4034	3332	3625	125	27	50	4143	3588	4143	3588	3792	3588	150	26	55	
	100	7253	6604	6881	1585	422	758	7442	6688	7003	1733	408	742	7552	6786	7552	6786	7119	6786	1600	437	722	
	500	35019	32278	33159	957630	256195	438515	35285	32407	33269	973075	262924	417376	35186	32376	33373	1238930	267323	410420				
12	10	2626	1718	2217	13	1	4	3208	2169	2661	17	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25	4363	3351	3896	121	24	57	4643	3684	4232	203	26	63	5141	4096	5141	4096	4621	4096	174	37	76	
	50	7968	6785	7192	1489	443	774	8170	6964	7422	1693	492	837	8438	7208	8438	7208	7735	7208	1992	528	873	
	100	14752	12258	13697	26359	6808	10773	15002	12460	13922	25859	7111	11157	15351	12804	15351	12804	14170	12804	21542	7782	11236	
	500	35037	32639	33413	1060653	257172	435019	35423	32721	33651	763387	268636	421636	35699	33066	33887	770274	290804	413136				
avg	11005.39	9749.35	10294.61	178766.35	44708.52	76747.52	11592.77	10278.00	10832.41	173762.14	47349.45	78084.50	12095.62	10778.14	11329.19	178560.29	51159.62	77772.76					

Tabla B.55: Variable Neighbourhood Search - 25 % de puntos de reparto de ayuda con 1, 2 y 3 vehículos

		Variable Neighbourhood Search (K_MAX 10% de víctimas)																	
k	n	1 vehículo			2 vehículos			3 vehículos			Tiempo (ms)								
		Valor objetivo	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg					
1	10	1003	486	744	13	0	0	1043	555	776	1	0	0	1099	508	831	1	0	0
	25	1962	1479	1771	12	1	3	1989	1494	1783	9	1	3	2062	1500	1829	9	1	3
	50	3653	2864	3209	116	25	50	3678	2839	3224	125	29	55	3787	2899	3239	120	27	51
	100	6968	5918	6360	1806	369	760	6933	5945	6379	1789	493	832	7042	5915	6388	1678	408	735
	500	14007	12697	13203	27449	7293	12769	13983	12538	13221	2721	7256	12567	14061	12730	13234	27858	7535	12711
3	10	33758	31894	32643	1135851	300080	481993	33793	31846	32634	1115752	334483	510471	33729	31842	32653	1240415	311156	476632
	25	1069	631	846	14	0	0	1204	731	958	2	0	0	1414	822	1122	1	0	0
	50	2022	1473	1746	9	2	3	2163	1566	1823	10	1	4	2241	1711	1922	10	1	4
	100	3803	3201	3508	128	30	57	3917	3170	3565	134	32	62	4011	3199	3653	131	31	65
	500	7268	6005	6613	2760	461	823	7319	5975	6684	2116	447	874	7322	6105	6716	2093	477	848
8	10	14250	12444	13214	28602	7631	12903	14337	12449	13256	32831	8168	14109	14306	12634	13310	33559	7917	13957
	25	34531	32138	33126	1368760	318688	514431	34579	32139	33164	1282485	343371	529976	34692	32256	33249	1144019	335902	534510
	50	1384	857	1093	1	0	0	2688	1726	2300	14	2	4	3108	2250	2687	27	2	5
	100	2406	1587	2046	12	2	4	4108	3509	3764	184	38	75	4421	3812	4019	200	39	80
	500	3859	3300	3581	182	32	65	6742	6742	7120	2182	528	1031	7710	6968	7307	2349	613	1111
16	10	7397	6654	6960	2062	535	974	7541	6742	7120	2182	528	1031	7710	6968	7307	2349	613	1111
	25	14727	12634	13303	28480	8037	13296	14942	12890	13457	30210	9127	14057	15033	13096	13611	28039	9308	13783
	50	35124	32297	33271	1207345	331654	516811	35379	32668	33449	1299100	358760	555150	35378	32639	33563	908126	369908	522522
	100	2851	1999	2422	15	2	5	5132	3970	4556	261	28	91	5703	4647	5130	413	43	103
	500	4629	3584	4107	148	32	78	8437	7299	7744	2148	678	1165	8924	7543	8160	4494	673	1322
avg	10	11097.43	9839.91	10374.70	236244.91	58689.70	92595.65	12099.10	10753.48	11331.05	242521.14	68726.43	102823.95	12269.81	10918.57	11491.00	208679.81	69233.05	101601.10

Tabla B.56: Variable Neighbourhood Search - 33% de puntos de reparto de ayuda con 1, 2 y 3 vehículos

# Bibliografía

- [1] National Climatic Data Center. Mitch: the deadliest atlantic hurriacane since 1780. 2004.
- [2] Salud Pública de México. *Efectos del Terremoto del 19 de septiembre de 1985 en el Hospital General de la Ciudad de México*. 1986.
- [3] K. F. Doerner and R. F. Hartl. *Health Care Logistics, Emergency Preparedness and Disaster Relief: Nwe Challenges for Routing Problems with a focus on the Austrian situation, the Vehicle Routing Problem; Latest Advaces and new challenges*. Springer US, 2008.
- [4] P. Hough. *Understanding Global Security*. Routledge, 2008.
- [5] Fritz Institute. Logistics and the effective delivery of humanitarian relief. 2005.
- [6] J. Roberto Jovel. El impacto del fenómeno de el niño de 1997-1998 en la comunidad andina de naciones. 2001.
- [7] Wassenhove LNV. *Humanitarian aid logistics: supply chain management in high geat*.
- [8] H. Min and G. Zhou. *Supply Chain Modeling: Past, Present and Future*, volume 43.
- [9] Nenad Mladenović and Pierre Hansen. Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research*, 24(11):1097–1100, 1997.
- [10] A. Dueñas Petrovic D. and S. Petrovic. *Decision Support Tool for Multi-objective Job Shop Scheduling Problems with Lingustically Quantified Decision Functions*, volume 43.