

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

**Modelo para la asignación de víctimas de desastre a puntos de valoración médica,
considerando diferentes lesiones y probabilidades de supervivencia en Bucaramanga**

Ibeth Yasney Amaya Rueda, Julián Andrés Gómez Sánchez

Trabajo de grado para optar por el título de Ingenieros Industriales

Directora

Msc. Karin Julieth Aguilar Imitola

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Industrial

2019

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Dedicatoria

A Dios, por guiar mi camino y hacer que todo esto sea posible.

*A mis padres Marlene y Campo Elías, por hacer de mí la persona que soy y ser mi
inspiración para lograr mis objetivos.*

*A mis hermanos Bleidy y Kleyber, por estar conmigo siempre que lo necesito y por ser mi
fuerza para seguir adelante.*

A mí compañera de vida Yule, por su apoyo incondicional.

Ibeth Yasney Amaya Rueda

A Dios por todas sus bendiciones y guiar mi camino.

*A mis padres Emilsen y Bladimir por todo su amor y apoyo incondicional, son el
motor de mi vida.*

A mi madrina Beatriz por su apoyo, por ser una segunda mamá para mí.

A mis amigos y compañeros por brindarme su amistad durante este tiempo.

Julián Andrés Gómez Sánchez

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Agradecimientos

A Dios por ser nuestro guía y permitirnos alcanzar nuestras metas.

A nuestros padres por su amor y apoyo incondicional.

A la profesora Karin Aguilar por sus enseñanzas, dedicación y paciencia en este proyecto.

A Yeison Valencia por su ayuda en el desarrollo de este proyecto.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Tabla de Contenido

Introducción	15
1 Planteamiento del Problema	17
2 Justificación	18
3 Objetivos	19
3.1 Objetivo General	20
3.1.1 Objetivos Específicos.	20
4 Marco Referencial	20
4.1 Marco Teórico	20
4.1.1 Logística humanitaria.	20
4.1.2 Problema de asignación.	21
4.1.3 Optimización combinatoria.	22
4.1.4 Complejidad computacional.	23
4.1.5 Métodos de solución de un problema de optimización combinatoria.	24
4.1.6 Computación evolutiva.	25
4.1.7 Sistema de información geográfica.	31
4.2 Marco conceptual	31
4.2.1 Riesgo.	31
4.2.2 Desastre natural.	32
4.2.3 Sismo.	32
4.2.4 Algoritmo.	33
4.2.5 Probabilidad.	33

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

4.2.6 Triage.	33
4.3 Estado del arte	34
5 Metodología	38
5.1 Diseño de la investigación	38
5.1.1 Tipo de investigación.	38
5.1.2 Fases.	39
6 Formulación del modelo matemático	41
7 Diseño de Algoritmo	47
7.1 Descripción detallada del algoritmo genético propuesto	47
7.1.1 Representación genética de los individuos.	49
7.1.2 Generación de la población inicial.	50
7.1.3 Operador de selección.	50
7.1.4 Operador de cruce.	51
7.1.5 Operador de mutación.	54
7.1.6 Decodificación.	55
8 Estudio del caso	63
8.1 Descripción del caso	63
8.1.1 Red de emergencia.	63
8.1.2 Generación de escenarios.	66
8.1.3 Estimación de las zonas de emergencia.	68
8.1.4 Estimación de afectados.	70
8.1.5 Estimación de la capacidad de los puntos de atención médica.	73
8.1.6 Estimación de la probabilidad de supervivencia.	75

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS	7
8.1.7 Tiempos.	76
9 Resultados y análisis	78
9.1 Resultados escenarios	79
9.1.1 Escenario 1: sismo con nivel de intensidad 6.	80
9.1.2 Escenario 2: sismo con nivel de intensidad 8.	87
10 Conclusiones	95
11 Recomendaciones	97
Referencias Bibliográficas	98

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Lista de Tablas

Tabla 1. Zonas afectadas por nivel de intensidad de Mercalli	69
Tabla 2. Cantidad de habitantes por comuna de las zonas vulnerables.....	71
Tabla 3. Porcentaje de la población que resulta herida en cada área de desastre	72
Tabla 4. Víctimas generadas por área de desastre para el escenario 1	72
Tabla 5. Víctimas generadas por área de desastre para el escenario 2	72
Tabla 6. Inventario de los organismos de socorro Bucaramanga.....	73
Tabla 7. Inventario de los hospitales de Bucaramanga	74
Tabla 8. Capacidad de atención de los puntos de valoración.....	75
Tabla 9. Capacidad de atención en los hospitales	75
Tabla 10. Probabilidad de supervivencia de los pacientes tipo i en el periodo de tiempo t...	76
Tabla 11. Tasa de disminución por minuto de la Ps de los pacientes al trasladarse a los puntos de valoración y hospitales.	76
Tabla 12. Tiempo de recorrido en minutos entre áreas de desastre y puntos de valoración ..	77
Tabla 13. Tiempo de recorrido en minutos entre los puntos de valoración y hospitales	77

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Lista de figuras

Figura 1. Fases de un algoritmo genético. Fuente “Algoritmos genéticos aplicados a la categorización automática de documentos” por Yolis,E et al,(2003)	28
Figura 2. Etapas usuales no secuenciales de un estudio de investigación de operaciones. Adaptado de “Introducción a la investigación de operaciones” por Hiller F, Lieberman G, (2010).	39
Figura 3. Diagrama de flujo de la descripción del algoritmo genético	48
Figura 4. Cromosoma de asignación: puntos de valoración	49
Figura 5. Cromosoma de asignación: hospitales.....	50
Figura 6. Cruce uniforme: hijo 1, segmento 1; asignación de zonas de desastre a puntos de valoración.....	52
Figura 7. Cruce uniforme: hijo 1, segmento 2; asignación de los puntos de valoración a hospitales.....	52
Figura 8. Cruce uniforme: hijo 2, segmento 1; asignación de zonas de desastre a puntos de valoración.....	53
Figura 9. Cruce uniforme: hijo 2; segmento 2; asignación de puntos de valoración a hospitales.....	54
Figura 10. Mutación: hijo 1.....	54
Figura 11. Cantidad total de víctimas encontradas en áreas de desastre según su tipo de gravedad	55
Figura 12. Cromosoma.....	56
Figura 13. Cantidad de heridos que son atendidos en los puntos de valoración.....	57
Figura 14. Cantidad de heridos que reciben tratamiento en los hospitales	57
Figura 15. Capacidad de puntos de valoración actualizada.	57
Figura 16. Cantidad de víctimas que se encuentran en las áreas de desastre al final del periodo de tiempo t.....	57
Figura 17. Cantidad de heridos que son atendidos en los puntos de valoración.....	58
Figura 18. Cantidad de heridos que reciben tratamiento.....	58

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Figura 19. Cantidad de víctimas que se encuentran en las áreas de desastre al final del periodo de tiempo t.....	58
Figura 20. Cantidad de heridos que son atendidos en los puntos de valoración.....	59
Figura 21. Cantidad de heridos que reciben tratamiento.....	59
Figura 22. Capacidad de puntos de valoración actualizada.	60
Figura 23. Cantidad de víctimas que se encuentran en las áreas de desastre al final del periodo de tiempo t.....	60
Figura 24. Cantidad de heridos que son atendidos en los puntos de valoración.....	60
Figura 25. Cantidad de heridos que reciben tratamiento.....	60
Figura 26. Cantidad de víctimas que se encuentran en las áreas de desastre al final del periodo de tiempo t.....	61
Figura 27. Cantidad de pacientes tipo i que reciben tratamiento en el periodo de tiempo t. .	62
Figura 28. Probabilidad de supervivencia P_s de los pacientes tipo i en los periodos de tiempo t.....	62
Figura 29. Fallas geológicas Bucaramanga.....	64
Figura 30. Organismos de socorro y hospitales	65
Figura 31. Vías de emergencia.....	65
Figura 32. Comunas Bucaramanga	65
Figura 33. Zonificación geomórfica de Bucaramanga.....	65
Figura 34. Escenario de prueba.....	68
Figura 35. Zonas vulnerables según zonificación geomórfica.....	70
Figura 36. Ejemplo toma de tiempos API Google	78
Figura 37. Heridos generados en un evento sísmico de intensidad 6 en la ciudad de Bucaramanga.....	80
Figura 38. Comportamiento de los cromosomas en el escenario 1.....	81

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Figura 39. Mejor individuo escenario 1	81
Figura 40. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 1 en un sismo de intensidad 6.....	82
Figura 41. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 2 en un sismo de intensidad 6.....	83
Figura 42. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 3 en un sismo de intensidad 6.....	84
Figura 43. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 4 en un sismo de intensidad 6.....	85
Figura 44. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 5 en un sismo de intensidad 6.....	86
Figura 45. Resultados obtenidos a partir de la configuración del mejor individuo para el escenario de intensidad 6	87
Figura 46. Heridos generados en un evento sísmico de intensidad 8 en la ciudad de Bucaramanga.....	88
Figura 47. Comportamiento de los cromosomas en el escenario 2.....	88
Figura 48. Mejor individuo escenario 2	89
Figura 49. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 1 en un sismo de intensidad 8.....	90
Figura 50. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 2 en un sismo de intensidad 8.....	91
Figura 51. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 3 en un sismo de intensidad 8.....	92
Figura 52. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 4 en un sismo de intensidad 8.....	93
Figura 53. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 5 en un sismo de intensidad 8.....	94
Figura 54. Resultados obtenidos a partir de la configuración del mejor individuo para el escenario de intensidad 8	95

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Resumen

Entre las actividades humanitarias, se encuentra el manejo de víctimas de desastre, desde su búsqueda y rescate [1] [2], hasta que estas son puestos a salvo en refugios [3], así como la asignación de diferentes tipos de recursos [4] . Una vez ocurre un desastre, se generan víctimas con diferentes niveles de lesión que deben ser retiradas de la zona de desastre y llevadas a instalaciones donde son valoradas de acuerdo con el *Triage* (sistema de selección y clasificación de pacientes en los servicios de urgencia), para posteriormente decidir si deben ser reubicadas en instalaciones de salud especializadas. Con el objetivo de maximizar el número de sobrevivientes entre los rescatados de un área de desastre, esta investigación aborda un problema de asignación, en el que se debe decidir a cuál punto de valoración enviar los rescatados, y de acuerdo al *Triage*, a cuál instalación de salud debe ser enviado para ser tratado a tiempo; considerando la probabilidad de supervivencia, la cual se asume disminuye de manera lineal con el tiempo que transcurre desde que la víctima es rescatada hasta que recibe tratamiento.

Por lo anterior, se realiza una revisión de literatura relacionada con los problemas de asignación en gestión de desastres. Posteriormente se formula un modelo matemático que describa el problema de estudio, el cual es solucionado mediante la construcción de un algoritmo genético. Para validar el algoritmo se diseña un escenario de desastre para la ciudad de Bucaramanga, para el cual se construye una red de emergencias, que incluye hospitales, su capacidad instalada y zonas de desastres; la red permite establecer la distancia y tiempo entre los diferentes nodos de atención. Al finalizar la investigación se espera obtener la asignación adecuada de los afectados a las diferentes instalaciones hospitalarias, considerando el nivel de sus lesiones y su probabilidad de supervivencia.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Palabras claves: Asignación de víctimas, Asignación de recursos médicos, Algoritmo genético, Logística humanitaria, Optimización.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Abstract

Among the humanitarian activities, there is the management of disaster victims, from their search and rescue [1] [2], until they are safeguarded in shelters [3], as well as the allocation of different types of resources [4]. Once a disaster occurs, victims are generated with different levels of injury that must be removed from the disaster area and taken to facilities where they are assessed according to the *Triage* (patient selection and classification system in the emergency services), to later decide if they should be relocated to specialized health facilities. With the objective of maximizing the number of survivors among those rescued from a disaster area, this investigation addresses an allocation problem, in which it is necessary to decide at which valuation point to send the rescued, and according to *Triage*, to which facility Health must be sent to be treated on time; considering the probability of survival, which decreases in a linear manner with the time that elapses since the victim is rescued until he receives treatment.

Therefore, a review of literature related to the problems of allocation in disaster management is carried out. Subsequently, a mathematical model is formulated that describes the study problem, which is solved by constructing a genetic algorithm. To validate the algorithm, a disaster scenario is designed for the city of Bucaramanga, for which an emergency network is built, which includes hospitals, its installed capacity and disaster zones; The network allows to establish the distance and time between the different attention nodes. At the end of the investigation it is expected to obtain the appropriate allocation of those affected to the different hospital facilities, considering the level of their injuries and their probability of survival.

Key words: Allocation of victims, Allocation of medical resources, Genetic algorithm, Humanitarian logistics, Optimization.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Introducción

Los desastres naturales son eventos inesperados que ocurren debido a la exposición de los asentamientos humanos a zonas propensas de fenómenos naturales como las inundaciones, sismos, movimientos en masa, entre otros; por lo tanto, el impacto social, económico y ambiental que pueda provocar el siniestro, depende de la preparación que tengan las personas afectadas para sobrellevar una situación como esa.

Colombia es un país con gran diversidad geológica, hidrológica y climática, por lo tanto, es susceptible a los fenómenos naturales tales como sismos, inundaciones, movimientos en masa y erupciones volcánicas. La amenaza sísmica, es una de las más relevantes, ya que el 86% de la población colombiana se encuentra expuesta a ella, esto debido a que el país se encuentra ubicada en la zona sísmica más activa del mundo llamado el anillo circumpacífico, cuyo nido sísmico se localiza en Bucaramanga, donde convergen las placas tectónicas de la nazca, la caribe y la suramericana. [5]

En cuanto a las operaciones de emergencia en caso de sismos, Colombia cuenta con la unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres, que es la responsable de establecer acciones estratégicas, mecanismos y procedimientos para el seguimiento, evaluación y control de la gestión del riesgo. Esta investigación está orientada al cumplimiento del cuarto objetivo del plan nacional de gestión de riesgos de desastres PNGRD, el cual consiste en garantizar un oportuno, eficaz y adecuado manejo de desastres mediante la planeación para la respuesta a emergencias y preparación para la recuperación, donde las acciones más destacadas son: la determinación de áreas públicas para actividades requeridas como rutas de evacuación, la atención pre hospitalaria; la determinación de áreas de reservas de equipamientos de recolección de escombros y para la reconstrucción de viviendas; la disposición de áreas de reserva como bodegas, centros de reserva,

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

albergues, entre otros; y el establecimiento de los sistemas de soporte para la recuperación de los servicios públicos. [6]

El presente proyecto propone un algoritmo genético validado por medio de la simulación de un escenario sísmico para la ciudad de Bucaramanga, en el cual se obtiene como resultado un modelo logístico para la asignación de las víctimas generadas en las áreas de desastre a los centros de atención médica más adecuados; teniendo en cuenta la gravedad de las heridas de los pacientes, la probabilidad de su supervivencia y las limitaciones de los recursos médicos; de manera que, se logre una asistencia médica coordinada y oportuna para obtener la mayor cantidad de sobrevivientes.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

1. Planteamiento del Problema

Colombia está constituida por una amplia diversidad geológica, geomorfológica, hidrológica y climática, la cual se ve reflejada en los aspectos sociales y económicos del país, en donde el 86% de la población colombiana se localiza en zonas de amenaza sísmica alta y media, el 28% en un alto potencial de inundación y el 31% a una amenaza alta y media por movimientos en masa. Sin embargo, las pérdidas humanas y daños que se generan por los diferentes desastres naturales, no dependen únicamente de su intensidad sino también de la exposición y la vulnerabilidad. [7]

Bucaramanga en su conformación geológica se considera como una región de alta amenaza sísmica, debido a que se encuentra ubicada sobre el Nido Sísmico o enjambre sísmico cuyo epicentro está situado a 150 km de profundidad y a 50 km al sur de la capital Santandereana entre las poblaciones de Umpalá y Cepitá, en el Cañón del Chicamocha, donde chocan la placa tectónica de nazca pacifico (desplazamiento de 60 a 70 mm al año), la placa Continental de Suramérica (desplazamiento de 15 a 20 mm al año) y la placa del Caribe (desplazamiento de 20 a 25 mm al año). [5]

Es evidente que, Bucaramanga se encuentra en una zona de peligro latente a sismos, por tal motivo, la ciudad cuenta con el plan municipal de gestión de riesgo de desastres; sin embargo, este plan municipal no es suficiente para responder de manera adecuada, por lo tanto, es necesaria la planeación de la logística humanitaria, la cual implica la organización de la cadena de suministros para emergencias, siendo la atención médica inmediata una de las más importantes, debido a que la prioridad en caso de emergencias es la preservación de la vida humana.

Por consiguiente, el diseño e implementación de un modelo logístico para la asignación de heridos a los centros médicos asistenciales es imprescindible para disminuir el impacto de pérdida

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

de vidas humanas en caso de desastres sísmicos; ya que, por medio de esta herramienta, se logrará tener un manejo adecuado y eficaz del tiempo y de los recursos disponibles para reaccionar de la mejor manera posible a fin de conseguir la mayor cantidad de personas sobrevivientes.

Este proyecto implica el diseño de un algoritmo genético como método de solución al problema de asignación de heridos a los centros asistenciales, por lo tanto, como resultado final se realizará su validación, por medio de la simulación de un escenario sísmico en la ciudad de Bucaramanga, donde se llevará a cabo la asignación de las víctimas a los centros médicos asistenciales pertinentes, de manera que la máxima cantidad de personas reciba la adecuada atención médica a fin de procurar su supervivencia.

Teniendo en cuenta lo mencionado se formula la siguiente pregunta ¿de qué manera se deben asignar los heridos de un evento sísmico a los centros de atención médica para maximizar la cantidad de sobrevivientes al desastre?

2. Justificación

Los desastres naturales no se pueden impedir, pero sí se pueden reducir los daños que causan. Es por ello, que la planificación es un factor importante para contrarrestar la pérdida de vidas humanas.

Los diferentes movimientos telúricos que se generan en gran magnitud en las diferentes partes del mundo dejan un número considerable de víctimas, un ejemplo de esto es Haití, el 12 de enero del año 2010 vivieron un terremoto de magnitud 7.3 grados en la escala de Richter, dejando un saldo de 230.000 muertos y 350.000 heridos [8]. Otro caso es el de Chile, donde el día 27 de febrero de 2010 se presentó un terremoto de 8.8 grados en la escala de Richter, que en términos de potencia fue 500 veces más fuerte que el ocurrido en Haití, ocasionando alrededor de 700

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

muertos [9]. Esta diferencia de víctimas se debe a que Chile se encontraba más preparada que Haití en temas de logística y atención humanitaria para esta clase de eventos, debido a que contaba con un ente gubernamental llamado ONEMI (Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública), encargado de la coordinación del sistema nacional de protección civil, cuyo objetivo es planificar, impulsar, articular y ejecutar acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo colectivo, emergencias, desastres y catástrofes de origen natural o provocada por acción humana [10].

Con base en lo anterior es evidente la importancia de la planeación de una logística humanitaria para la atención de desastres, y más específicamente la asignación de las víctimas a los diferentes centros médicos donde puedan recibir atención médica a tiempo, teniendo en cuenta la gravedad de sus lesiones, la probabilidad de supervivencia, la capacidad de los centros asistenciales, entre otros. Actualmente Bucaramanga no cuenta con un modelo logístico de asignación de heridos a centros asistenciales en caso de desastres sísmicos, que apoye al plan de gestión del riesgo y desastre para la toma de decisiones, por lo que es necesario el diseño de un modelo de este tipo aplicado a las características de la ciudad, el cual se propone en este proyecto aplicando técnicas vistas desde la ingeniería industrial, dado que esta disciplina proporciona las herramientas suficientes para la solución adecuada de problemas de asignación.

3. Objetivos

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

3.1 Objetivo General

Desarrollar un algoritmo metaheurístico para la asignación de víctimas de desastre sísmico a puntos de valoración médica, considerando diferentes lesiones y probabilidades de supervivencia en la ciudad de Bucaramanga.

3.1.1 Objetivos Específicos.

- Revisar en la literatura el problema de asignación y su aplicación en logística humanitaria para la atención de víctimas por desastres.
- Desarrollar un modelo matemático para la asignación de víctimas por desastres a puntos de valoración, considerando diferentes lesiones y probabilidades de supervivencia para minimizar el número de víctimas fatales.
- Diseñar una red para la asignación de víctimas por desastres para Bucaramanga.
- Construir un algoritmo metaheurístico para resolver el problema de asignación de víctimas.

4. Marco Referencial

4.1Marco Teórico

4.1.1 Logística humanitaria.

La logística Humanitaria se entiende como el proceso de planificar, implementar y controlar los recursos que son necesarios en caso de desastres naturales, como son el transporte, el almacenamiento y la información desde el lugar donde son originados hasta el destinatario final

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

que viene siendo la población afectada; teniendo en cuenta que se realiza sin saber cómo, donde y cuando se requiera.

Las funciones más importantes de la logística son: [11]

- Planificación estratégica: decisiones a largo plazo, localización, presupuesto etc.
- Gestión de inventarios: planificación, coordinación y control de flujos.
- Planificación del transporte: vía de transporte, utilización de su capacidad, su secuencia miento y mantenimiento.
- Planificación, gestión de recursos y Gestión de la información: componente fundamental al momento de implementar un sistema logístico humanitario eficaz y eficiente.

4.1.2 Problema de asignación.

En los problemas de asignación el objetivo principal es encontrar el emparejamiento entre las fuentes y los destinos, teniendo en cuenta las diferentes restricciones que requiera una situación. Los problemas de asignación se pueden aplicar en diferentes situaciones, por ejemplo, la asignación de personas a escuelas, universidades, hospitales, entre otros. En 1962 los matemáticos Gale y Shapley trataron problemas bilaterales los cuales son dos, el primero es la asignación *one to one*, que consiste en emparejar uno a uno los agentes de cada lado, el segundo es la asignación *many-to-one*, en donde uno de los agentes le corresponde un individuo, mientras que al otro varios [12]. Para los problemas de asignación se encuentran modelos nominales que de igual forma tienen una solución nominal, dentro de estos modelos se pueden encontrar la asignación de cadenas de suministro de un solo nivel, asignación de un solo objetivo, asignación con certeza de datos de entrada estáticos, entre otros, el problema de estos modelos está en que

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

en la práctica son poco ciertas teniendo poca validez. Por otra parte se encuentran los problemas que exigen un esfuerzo computacional grande para obtener soluciones casi optimas, que son los problemas de asignación de objetivos múltiple, asignación dinámica, asignación impulsada por rendimiento múltiple y asignación integrada. La formulación básica de asignación de recursos se observa a continuación. [13]

Conjunto de elementos (ej. personal, instalaciones, tareas):

$$A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_n\}$$

Conjunto de posiciones (ej. ubicaciones, procesadores):

$$B = \{b_1, \dots, b_j, \dots, b_m\}$$

Efectividad del par a_i y b_j es: $c(a_i, b_j)$

$X_{ij} = 1$ si a_i se encuentra ubicado en la posición b_j y 0 si es lo contrario ($x_{ij} \in \{0,1\}$).

El problema es: $\text{Max } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} X_{ij}$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall j$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 \quad \forall i$$

4.1.3 Optimización combinatoria.

La optimización combinatoria se ocupa de los problemas de maximizar o minimizar una función de muchas variables sujetas a restricciones de desigualdad e igualdad y a restricciones de integralidad en algunas o en todas las variables.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Se denomina configuración al conjunto de variables del problema ubicadas en determinada posición. La combinatoria se dedica al estudio de las configuraciones, Un problema de optimización combinatoria es la búsqueda de la mejor configuración. La construcción de una o más funciones de valor sobre el espacio de las configuraciones permite ordenar estas para saber cuál es la mejor. [14]

Un problema de optimización combinatoria se puede definir por: [15]

- Un conjunto de variables $X = \{x_1, \dots, x_n\}$
- Variables dominios, $D_1, \dots, D_n$
- Constricciones entre variables
- Una función objetiva f debe ser maximizada o minimizada, donde $f = D \rightarrow R^*$

El conjunto de todas las posibles asignaciones factibles es:

$$S = \{s = \{(X_1, V_1), \dots (X_n, V_n)\}$$

Donde $X_1 \in D_1$, s satisface todas las restricciones.

Así resolver un problema de optimización combinatoria consiste en encontrar una solución $s^* \in S$ tal que, $f(s^*) \leq f(s)$ si se minimiza o $f(s^*) < f(s)$ si se maximiza.

4.1.4 Complejidad computacional.

La ciencia de la computación es la sistematización del conocimiento en relación al cálculo, el cual se sostiene en dos áreas fundamentales que son la teoría de la computabilidad y la teoría de la complejidad computacional. La teoría de la computabilidad trabaja con la ayuda de los fundamentos del cálculo y las técnicas de ingeniería para el diseño de algoritmos, mientras que la complejidad computacional estudia los recursos necesarios para resolver un problema como son los de espacio (cantidad de memoria utilizada para resolver un problema) y tiempo (número

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

de pasos de ejecución de un algoritmo para resolver un problema) [16]. El tipo de problema que abarca son los de tipo NP, NP-Hard y NP completo. [17]

4.1.4.1 Problemas NP.

Los problemas NP matemáticamente son problemas que contienen un grado de dificultad elevado para ser resueltos, es por esto se consideran como problemas relevantes. Además, estos tienen como características el no ser polinomiales, sin embargo, deben ser resueltos en tiempo polinomial. [17]

4.1.4.2 Problemas NP-Hard.

Son problemas que se solucionan en un tiempo polinomial no-determinista; estos problemas pueden ser de búsqueda, decisión o de optimización [17]

4.1.4.3 Problemas NP-Completo.

Los problemas de NP-completos son los problemas más difíciles de NP, ya que son de tipo NP y NP-Hard al mismo tiempo, en este tipo de problemas es complejo realizar un análisis general y el crecimiento del problema se va generando de manera proporcional con el tiempo necesario para llegar a una solución. [17]

4.1.5 Métodos de solución de un problema de optimización combinatoria.

Existen múltiples métodos para determinar la solución en estos casos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

4.1.5.1 Algoritmos exactos.

“Garantizan encontrar la solución óptima para cualquier instancia de cualquier problema en un tiempo acotado” [18]. Sin embargo, este método tiene desventajas a la hora de trabajar con un problema de optimización combinatoria de tipo NP-HARD, debido a que el tiempo que se necesita para determinar su solución crece exponencialmente con la dimensión del problema [19].

4.1.5.2 Algoritmos heurísticos.

Los algoritmos heurísticos son utilizados en el ámbito de la optimización para describir un tipo de algoritmo y de resolución de problemas, se caracterizan por tener una solución de calidad de manera rápida. [20]

4.1.5.3 Algoritmos metaheurísticos.

“Según Glover [21] Esta metodología explora de forma eficiente y efectiva el espacio de búsqueda a través del movimiento evitando quedar atrapado en óptimos locales, es decir son una forma inteligente de explorar los espacios de búsqueda”. Estos métodos utilizan dos estrategias para direccionar la búsqueda, diversificación e intensificación, la diversificación busca la exploración efectiva de todos los posibles vecindarios del espacio de solución, y la intensificación se centra en la exploración de sub espacios de solución más reducidos. [19]

4.1.6 Computación evolutiva.

La computación evolutiva se dedica al estudio de los algoritmos basados en el principio la selección natural de Charles Darwin, publicado en su libro “On the origin of species” donde expone que las especies crecen y evolucionan con el fin de adaptarse mejor a su entorno

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

biológico; en este sentido, al proporcionar a un algoritmo evolutivo un problema a resolver como entorno se espera que la población se adapte de la mejor manera y así proveer soluciones adecuadas en tiempos razonables. [22]

4.1.6.1 Programación evolutiva.

La programación evolutiva fue propuesta por Lawrence J. Fogel en 1960, Se basa en un mecanismo que hace evolucionar un conjunto de máquinas en estados finitos, a partir del desarrollo de soluciones favorables con respecto a una función objetivo y un ambiente al que es expuesto. De esta manera es como la programación evolutiva hace evolucionar las máquinas de estado finito: [23]

- Se genera una población inicial de manera aleatoria
- Cada máquina se evalúa por medio de la función objetivo
- Se seleccionan los padres de la siguiente generación de forma secuencial
- Cada miembro de la población es alterado mediante el proceso de mutación
- El proceso termina cuando la solución alcanza un criterio de parada determinado

4.1.6.2 Estrategia evolutiva.

La estrategia evolutiva hace parte de las técnicas heurísticas, la cual imita los procesos evolutivos de la naturaleza, es utilizada principalmente para solucionar problemas de optimización. Esta heurística trabaja en base a una población de individuos a los cuales se les aplica los operadores de recombinación, mutación y selección. A continuación, se muestra como trabaja la estrategia evolutiva de manera general: [24]

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- **Recombinación:** Se producen hijos a partir de los padres, recombining las variables de control y variables objetivo.
- **Mutación:** Se aplica este proceso a cada uno de los hijos, en el cual primero debe mutarse las variables de control y posteriormente las variables objetivo.
- **Evaluación:** Se calcula la aptitud de cada uno de los descendientes.
- **Selección:** Se toman los individuos que pasan a la siguiente generación.

4.1.6.3 Algoritmos genéticos.

Los algoritmos genéticos se desarrollaron en la década de 1970 por John Holland en la universidad de Michigan. Estos algoritmos se aplican para resolver problemas de optimización en diversos campos, operando en una población compuesta por diferentes individuos llamados “cromosoma” el cual es el representante dentro del algoritmo genético, este va creando nuevas generaciones de la población, las cuales son mejores soluciones con respecto a los anteriores resultados. [25]

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

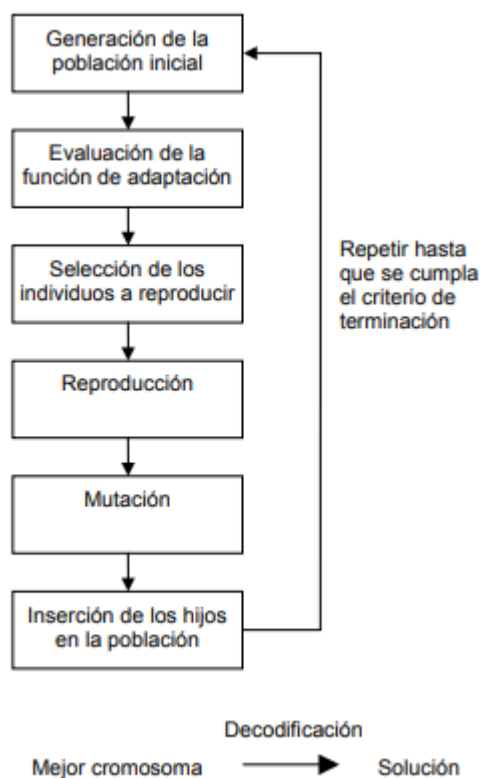


Figura 1. Fases de un algoritmo genético.

Fuente “Algoritmos genéticos aplicados a la categorización automática de documentos” por Yolis,E et al,(2003).

4.1.5.3.1 Operaciones de los algoritmos genéticos.

Para que el algoritmo genético se pueda llevar a cabo se deben realizar las diversas operaciones que se explican a continuación: [26]

- **Codificación de variables:** La codificación de las variables se puede realizar de diferentes maneras, en donde la más utilizada es el método de la cadena de números binarios (1s o 0s). Para escoger de forma correcta el método de codificación se debe tener en cuenta el problema a resolver, debido a que una codificación puede resolver de manera sencilla un determinado caso y complicar la solución de otro.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- *Selección:* Al realizar la evaluación de todos los cromosomas, se debe crear una nueva generación de individuos teniendo en cuenta los más capacitados. A continuación, se enunciarán los métodos de selección más comunes.

Selección por rueda de ruleta: Para este método de selección se crea una ruleta con los cromosomas pertenecientes a una generación, cada cromosoma tendrá un porcentaje en la ruleta dependiendo a la puntuación que cada uno tenga. Posteriormente se gira la ruleta y se escoge el cromosoma en el que la ruleta se haya detenido, lógicamente tendrá mayores probabilidades de ser seleccionado el individuo con mayor puntaje.

Selección por torneo: Se escoge de forma aleatoria un número de individuos de la población y aquel que tenga la mayor puntuación es el que se selecciona para la reproducción.

Selección jerárquica: Los individuos pasan por varias rondas de selección en cada generación, en donde a medida que van pasando los niveles, la rigurosidad de selección aumenta. Este método tiene como ventaja que utiliza una evaluación rápida, en donde se elimina a los individuos menos prometedores, para posteriormente someter a los individuos con las mejores aptitudes a una evaluación más rigurosa y más costosa computacionalmente

- *Reproducción o cruce:* El cruce consiste en el intercambio de los genes entre dos cromosomas, con el fin de que el hijo mejore las aptitudes de los padres. Existen diferentes métodos de cruce, entre ellos están:

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Cruce en 1 punto: Los dos padres se cortan por un punto, el hijo recibirá la información genética de uno de los padres, desde el punto de inicio hasta el punto de corte y el resto de la información la recibirá del segundo padre.

Cruce en 2 puntos: Los padres se cortan en dos puntos, en donde el hijo recibirá los genes del primer padre desde el inicio del cromosoma hasta el primer punto de corte, los genes del segundo padre van desde el primer corte hasta el segundo y del segundo corte hasta el final nuevamente recibirá los genes del primer padre.

Cruce uniforme: En este método cada gen que transmite el padre al hijo se obtiene de manera aleatoria, este proceso se puede hacer de dos formas: el primer método consiste en generar un número aleatorio, en donde si este número supera un umbral se escogerá a uno de los padres y si no lo supera se tomara el otro; el segundo método consiste en generar una malla binaria (1,0), los genes descendientes saldrán dependiendo de la posición de la malla con respecto a los cromosomas de los padres, en donde se determina que los genes de un padre que coincidan con el número 1 y los del otro que coincidan con el 0 pasaran al nuevo individuo.

- *Mutación:* El proceso de mutación consiste en modificar alguno de los genes de manera aleatoria, para generar diversidad genética en la población, teniendo en cuenta la probabilidad de mutación establecida. Este proceso se debe manejar con precaución ya que, si se abusa, el algoritmo termina convirtiéndose en una búsqueda aleatoria. Por esto resulta de gran importancia estudiar diversas soluciones que aporten a la diversidad de los individuos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

4.1.7 Sistema de información geográfica.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés Geographic Information System) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica.

Los Sistemas de Información Geográficos tienen dos componentes fundamentales: [27]

- Un modelo de datos en el que se almacenan las características de los objetos geográficos de forma similar a como se almacenan en una base de datos convencional (de hecho, muchos sistemas emplean sistemas de gestión de base de datos convencionales), junto con información posicional (coordenadas) y las relaciones entre los distintos objetos (qué está conectado a qué, o junto a).
- Una colección de funciones que nos permiten interrogar a la base de datos y obtener respuestas, bien en base a listados o a imágenes: mapas.

En definitiva, un SIG es una herramienta capaz de combinar información gráfica (mapas) y alfanumérica (estadísticas) para obtener una información derivada sobre el espacio.

4.2 Marco conceptual

4.2.1 Riesgo.

Se entiende como riesgo a una situación de exposición a una amenaza ya sea natural o por actividad humana; por lo tanto, el riesgo es un problema de localización, ya que se debe al

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

desconocimiento del uso de espacios que presentan procesos naturales cuyo alcance de las manifestaciones pueden ser extremas. El nivel de riesgo depende del tipo de amenaza, del tipo de actividad o uso del suelo y de la vulnerabilidad. [28]

4.2.2 Desastre natural.

Un desastre natural es un evento inesperado ocasionado por la misma naturaleza, por la actividad humana o por la combinación de ambas; causa alteraciones en la estructura social, el medio ambiente, la economía y genera pérdidas materiales y humanas que sobrepasan la capacidad de respuesta de los organismos de atención de emergencias. [29]

4.2.3 Sismo.

Se le conoce como sismo a los deslizamientos súbitos o perturbaciones en la superficie terrestre producidos por los movimientos de las placas tectónicas, el lugar donde se origina tal perturbación se le conoce como hipocentro o fuente sísmica.

Las placas tectónicas son fragmentos que componen la capa rocosa de la tierra llamada litosfera cuyo espesor es de aproximadamente 100 km. El movimiento entre las placas tectónicas ocasiona que sus bordes hagan contacto y por ende generen esfuerzos de fricción y deformación de una respecto a otra, cuando estos esfuerzos superan la resistencia de la capa rocosa, se genera una ruptura violenta y la liberación repentina de energía originando lo que se conoce como sismo. [30]

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

4.2.4 Algoritmo.

Un algoritmo es una secuencia de instrucciones lógicas y finitas que permiten solucionar un problema o alcanzar un objetivo.

Características de los algoritmos: [31]

- Preciso: definirse de manera rigurosa, sin ambigüedades.
- Definido: Si se ejecuta un algoritmo varias veces debe obtener el mismo resultado.
- Finito: debe iniciar con una acción y terminar con una solución.
- Puede tener uno o más elementos de entrada

4.2.5 Probabilidad.

La probabilidad es el grado de posibilidad de que ocurra cualquier suceso. La probabilidad de los sucesos depende de las condiciones objetivas en que éstos se efectúan. La probabilidad se presta a un cálculo cuantitativo, y su cómputo es el objeto de la teoría matemática de la probabilidad, que examina las leyes por las que se rigen los fenómenos y sucesos en masa, de los cuales cada uno por separado puede ser un fenómeno o suceso accidental. [32]

4.2.6 Triage.

Se le conoce como triage al proceso de valoración preliminar que clasifica y ordena a los pacientes de acuerdo a su grado de urgencia, de manera que cuando los recursos médicos disponibles son limitados, las personas que requieran asistencia más urgente son los primeros en ser atendidos y los demás son controlados hasta tener disponibilidad nuevamente. Actualmente existen cinco escalas de triage: [33]

- Escala de triage Australiana (ATS)

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- La escala canadiense de triage y urgencia para los cuartos de urgencias (CTAS)
- El sistema de triage de Manchester (MTS)
- El índice de severidad de urgencias de 5 niveles de triage (ESI)
- El modelo Andorrano de triage (MAT)

4.3 Estado del arte

El problema de asignación es uno de los problemas fundamentales de la optimización combinatoria y es una variación del problema original de transporte, es bastante usada en las operaciones logísticas humanitarias, ya que esta ayuda a la asignación de los recursos disponibles (personas, maquinas, implementos) a diferentes puntos de llegada, en el cual no es necesario que existan el mismo número de fuentes y destinos. Para la aplicación de este tipo de problemas se tienen en cuenta diferentes restricciones como: capacidad, generación de individuos, entre otros. Una formulación de este tipo puede incluir un amplio número de variables y parámetros.

Algunos estudios que se realizaron con el fin de dar solución a los problemas de asignación en logística humanitaria se mencionan a continuación.

Fawcett, William y Sousa, Carlos (2002) [34]. Los autores presentan un enfoque para el tratamiento de víctimas causados por desastres a gran escala, esto lo hacen con base a un modelo matemático, el cual simula el movimiento de víctimas de las zonas afectadas hacia los hospitales. Para el diseño del modelo se tuvieron en cuenta la ubicación y el número de víctimas rescatadas con vida, la escala de la atención pre hospitalaria, la capacidad hospitalaria posterior al terremoto y el sistema de transporte. El funcionamiento del modelo consiste en simular el movimiento de los heridos de las zonas del desastre hacia los hospitales, en donde predice el número de víctimas mortales y diferentes estadísticas sobre el sistema de atención médica.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Santhosh k, G et al. (2006) [35]. Presenta un enfoque de modelado transitorio que utiliza las funciones exponenciales y simulación de las aplicaciones en caso de un terremoto. El modelo diseñado por los investigadores puede presentar tiempos de espera transitorios, además permite la estimación de capacidad de los hospitales. También realiza el análisis del enrutamiento basado en la prioridad de atención de los pacientes y los tiempos de espera, por esto el modelo trabaja en función del tiempo de supervivencia restante, además también explica el impacto del tiempo de transporte pre hospitalario en el tiempo de espera de la víctima.

Barzinpour et al. (2014) [36]. Proponen un modelo multiobjetivo para que sea aplicado a los centros de distribución de artículos de socorro, que son ubicados y asignados en las áreas de desastre. Los objetivos principales de este estudio son minimizar los costos logísticos totales y maximizar la tasa de satisfacción de distribución de artículos. El modelo determina simultáneamente la ubicación de los centros de distribución de socorro y la asignación de las áreas afectadas a los centros de socorro, el método de solución aplicado a este modelo matemático fue un algoritmo genético. Los resultados que dio el algoritmo genético fueron buenos en un tiempo aceptable.

Jin et al. (2015) [37]. Proponen un modelo de optimización para la entrega de pacientes y la asignación de recursos médicos con restricciones de capacidad. Este modelo considera la gravedad de las lesiones de las víctimas en el período inicial de búsqueda y rescate y sus probabilidades de supervivencia, que disminuyen proporcionalmente con el tiempo transcurrido. Desarrollaron un modelo de programación entera mixta, para seleccionar la ubicación y el flujo de la red de una clínica para apoyar el tratamiento de primeros auxilios cerca de las áreas de desastre. También construyeron un modelo de un hospital general como una función objetiva para maximizar el número de pacientes cuya probabilidad de supervivencia supera el nivel

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

marginal. Los resultados computacionales muestran que la maximización del número de pacientes supervivientes como función objetivo es más efectiva que la minimización del tiempo total del ciclo, que se utilizó en estudios previos.

Gao, X et al (2017) [38]. En este estudio los autores buscan diseñar un modelo de asignación de heridos post-desastre a centros de servicio médicos temporales, para esto se tiene en cuenta la probabilidad de mortalidad final que es generada por el riesgo de mortalidad inicial y la distancia del viaje, la duración de los viajes se considera para determinar la asignación de los centros médicos. El objetivo del estudio está en minimizar el tiempo total del viaje y el valor de mortalidad de los pacientes en la zona de desastre, para lograrlo desarrollan dos funciones objetivo que son solucionados mediante un algoritmo genético con modificaciones difusas *c-means* y con este se decide las asignaciones de los centros médicos.

Shavarani, S y Vizvari, B. (2018) [39]. La investigación de los autores consiste en realizar una asignación correcta de los vehículos de emergencia a los pacientes generados por un desastre, y además el enrutamiento de manera eficiente, esto con el fin de maximizar la tasa de supervivencia de los afectados. Para la solución del problema se aplican los conceptos de enrutamiento de vehículos de entrega y recogida múltiple de depósitos no fijos (MDPDVRP), también, debido a la dureza NP del problema, aplican un algoritmo genético híbrido, en donde el rendimiento se muestra a través de un estudio de caso. Los resultados mostraron que el algoritmo híbrido propuesto supera al AG tradicional ya que muestra superioridad en la asignación del vecino más cercano.

Shiripoura, S y Mahdavi-Amirib, N (2018) [40]. Formulan un problema de distribución óptima de los heridos en una red de transporte multi-tipo con tiempos de viaje dependientes del daño del desastre, cuyo objetivo es determinar las ubicaciones para el establecimiento de las estaciones de

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

ayuda, las capacidades de las estaciones, el porcentaje de heridos asignados a cada estación, los porcentajes de lesionados asignados a diferentes rutas con respecto al daño, la cantidad de vehículos y tipos de redes de transporte para llegar a las estaciones correspondientes, de modo que se minimice el tiempo total de asistencia. Para solucionarlo proponen un algoritmo genético (GA) y una versión discreta del algoritmo competitivo imperialista (DICA), para examinar la efectividad de los algoritmos propuestos se simulan varios escenarios y los resultados obtenidos muestran que las soluciones del DICA son mejores que las del GA, tanto en precisión, como en tiempo de computación.

Vinh Doan,X y Shaw,D(2018) [41]. En esta investigación los autores utilizan técnicas de optimización estocástica para la asignación de recursos escasos en ocho ciudades, para ello diseñan tres modelos para responder a tres desastres simultáneos. El primer modelo calcula a partir de las limitaciones de los recursos el riesgo de no alcanzar los objetivos de rendimiento, el segundo analiza la cantidad de recursos que se necesitan para llegar a los niveles de rendimiento y el tercer modelo trabaja a partir de los primeros dos modelos, el cual estudia las implicaciones de los presupuestos financieros. Tienen en cuenta número de desastres simultaneos, ubicación y los recursos necesarios para suplir necesidades.

A partir de la revisión de literatura sobre problemas de asignación en caso de desastres naturales, se encontraron estudios relacionados con la distribución de artículos de socorro, la asignación de víctimas a centros de salud y el apoyo a problemas de ruteo de vehículos. En cuanto a los problemas de asignación de artículos de socorro, se aplicaron modelos multiobjetivo y de programación entera mixta para la maximización de las vidas humanas, mediante la minimización de costos en el flujo de las redes de distribución de recursos. Por otra parte, en los problemas de asignación de pacientes a centros de salud, proponen modelos que tienen como objetivo

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

determinar las ubicaciones de los centros de ayuda, minimizar los tiempos de recorrido y maximizar el número de vidas humanas mediante algoritmos genéticos. Finalmente, el método de asignación también es utilizado como apoyo a los problemas de enrutamiento de vehículos como se muestra en la investigación de Shavarini y Vizvari, quienes usan el enrutamiento de vehículos de entrega y recogida múltiple de depósitos no fijos (MDPDVRP) y aplican un algoritmo genético híbrido que realiza la asignación de vehículos de emergencia a las víctimas y el enrutamiento hacia los centros médicos.

5. Metodología

5.1 Diseño de la investigación

Este modelo logístico se realizará bajo las condiciones de la ciudad de Bucaramanga teniendo en cuenta información, tiempos de transporte, centros de atención médica y su capacidad para responder ante una catástrofe natural.

Para llevar a cabo la recolección de datos se utilizarán fuentes de información tanto primaria como secundaria. Como fuente primaria se acudirá al Comité Municipal de Gestión del Riesgo de Bucaramanga y como fuente secundaria se abordarán artículos relacionados con el tema encontrados en las bases de datos.

5.1.1 Tipo de investigación.

La investigación que se llevará a cabo será de tipo Exploratoria con enfoque cuantitativo, que Según Claire S. (1965:69) es una búsqueda de información con el propósito de formular problemas e hipótesis para una investigación más profunda de carácter explicativo. Estos estudios

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

exploratorios, llamados también formularios tienen como objetivo “la formulación de un problema para posibilitar una investigación más precisa o el desarrollo de una hipótesis” (Selltitz, et al 59-69). [42]

5.1.2 Fases.

La metodología que guiará el desarrollo de este trabajo de investigación consta de 5 fases, las cuales se fundamentan en las etapas usuales no secuenciales de un estudio de investigación de operaciones (figura 2), que usa como base el método científico para explorar los problemas. Estas fases son presentadas por Hillier y Lieberman. [43]

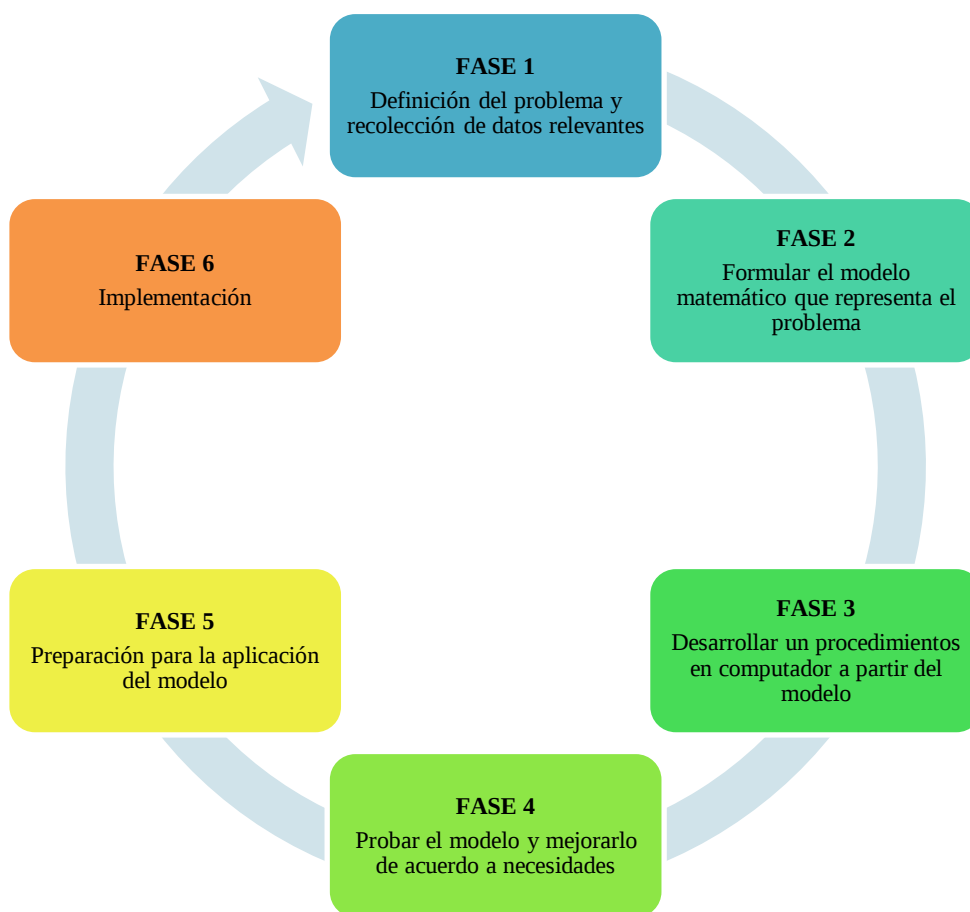


Figura 2. Etapas usuales no secuenciales de un estudio de investigación de operaciones. Adaptado de “Introducción a la investigación de operaciones” por Hiller F, Lieberman G, (2010).

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Las etapas anteriores son adaptadas a las necesidades de esta investigación y se describen a continuación:

5.1.2.1 Fase 1: Definición del problema y recolección de datos.

Esta fase se compone de tres actividades, donde la primera actividad consiste en la recolección de datos relacionados con el problema de asignación de víctimas por desastres naturales, la segunda actividad consiste en la revisión de literatura y finalmente se identificará el algoritmo que mejor se ajuste al problema de asignación de heridos a puntos de valoración médica. Por lo anterior, se realizarán las siguientes actividades.

- Realizar la revisión de la literatura con respecto a los modelos logísticos desarrollados en la asignación de víctimas a centros médicos.
- Revisar en la literatura el uso de metaheurísticas para la solución del problema de asignación y su aplicación en logística humanitaria.
- Identificar con base en los resultados de la revisión, el algoritmo más conveniente para la asignación de los heridos a los centros médicos.

5.1.2.2 Fase 2: Formulación del modelo matemático.

Esta fase consiste en formular y diseñar un modelo matemático basado en una adecuada red de asignación teniendo en cuenta las diferentes restricciones, parámetros y variables que se puedan presentar en caso de desastre, cuya finalidad es minimizar la pérdida de vidas humanas.

- Definir variables, restricciones y parámetros para el desarrollo del modelo matemático.
- Formular un modelo matemático para la minimización de pérdidas humanas a partir de la de asignación de víctimas a puntos de valoración médica.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- Estudiar la capacidad de atención y respuesta inmediata de los centros médicos asistenciales a víctimas en caso de desastres en la ciudad de Bucaramanga.
- Analizar el mapa de la ciudad de Bucaramanga para identificar las posibles áreas de desastre sísmico y los diferentes centros médicos asistenciales.

5.1.2.3 Fase 3: Desarrollar un procedimiento en computador.

- Elaborar un algoritmo que permita darle solución al problema de asignación de las víctimas por desastres en Bucaramanga a puntos de valoración médica.

5.1.2.4 Fase 4: Probar el algoritmo.

- Ejecutar el programa y determinar si genera resultados válidos.
- Ajustar el algoritmo de solución en caso de que se generen resultados no viables.

5.1.2.5 Fase 5: Preparación e implementación del algoritmo.

- Diseñar un escenario de desastres considerando víctimas con diferentes lesiones y probabilidades de supervivencia para implementar el algoritmo de solución propuesto.

6. Formulación del modelo matemático

Teniendo como base el modelo matemático propuesto por Jin et al. [44] se desarrolló una adaptación para el problema formulado en este estudio.

Para el modelo matemático propuesto se tienen en cuenta los siguientes supuestos:

- Todos los pacientes se generan en las áreas de desastre en el período de tiempo 0 y tienen diferentes valores de probabilidad de supervivencia (P_s) por tipo de paciente 1,2 y 3. La

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

P_s disminuye de manera lineal con respecto al tiempo que transcurre desde que la víctima es rescatada hasta que recibe tratamiento.

- Cada periodo de tiempo t equivale a 2 horas, por lo tanto, los periodos que se evalúan en el estudio son de $t=4$ para un total de 8 horas.
- Los rescatistas hacen un *triage* superficial para determinar cuáles heridos deben trasladar con más urgencia al punto de valoración.
- Hay varios puntos de valoración cerca de las diferentes áreas de desastre en donde se prestarán los servicios de primeros auxilios y se clasifican a los pacientes según su prioridad en tres tipos, donde la prioridad tipo 1 son pacientes de estado crítico, tipo 2 pacientes que están graves, pero pueden esperar un poco y tipo 3, son los que no necesitan continuar con atención médica.
- Los pacientes serán trasladados del área de desastre a los diferentes puntos de valoración por medio de ambulancias al igual que de los puntos de valoración a los hospitales, en donde los pacientes de prioridad 1 y 2 serán asignados a los hospitales que tengan la capacidad de atenderlos; siempre y cuando estos tengan una P_s mayor o igual al nivel marginal, que corresponde al 25% , la cual se determina a partir de la ecuación $f_{ID}(i, t)$.
- La capacidad de los puntos de valoración y de los hospitales estará dada por la cantidad de médicos que estén disponibles.
- El personal médico disponible tanto en los puntos de valoración como en los hospitales están en capacidad de atender cualquier tipo de paciente.
- Los pacientes que ya han recibido atención en los puntos de valoración y en los hospitales pasado un periodo de tiempo t y $t+1$ respectivamente, se trasladan a refugios.
- La capacidad vehicular no es limitada.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

A continuación, la descripción del modelo matemático propuesto:

Índices:

i	: tipo de paciente
j	: área de desastre
u	: punto de valoración
m	: hospital general
t	: Período de tiempo

Parámetros:

CC_u	: capacidad del punto de valoración
CH_m	: capacidad del hospital general m
NCD_{du}	: número de doctores d en el punto de valoración u
NCD_{dm}	: número de doctores d en el hospital m
P_{ij}^t	: número de pacientes tipo i que se encuentran y rescatan en el área de desastre j durante el período de tiempo t
TC_i	: tiempo que dura el tratamiento de los pacientes tipo i en el punto de valoración.
TC_m	: tiempo que dura el tratamiento de los pacientes tipo i en los hospitales generales.
TM_{ju}	: tiempo de transporte desde el área de desastre j al punto de valoración u
TM_{um}	: tiempo de transporte desde el punto de valoración u al hospital general m
$f_D(i, t)$	: probabilidad de supervivencia de pacientes tipo i en el período t de tiempo después de ser atendido en el punto de valoración u ($0 \leq f_D(i, t) \leq 1$)
$f_{ID}(i, t)$	: probabilidad de supervivencia de pacientes de tipo i en el período de tiempo t al momento de ser atendido en el hospital general m ($0 \leq f_{ID}(i, t) \leq 1$)

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Variables:

IDS_{ij}^t : número de pacientes i en el área de desastre j al final del período de tiempo t

X_{ju}^t : número de pacientes que se transportaron del área de desastre j al punto de valoración u durante el periodo de tiempo t

IC_{iu}^t : número de pacientes i en el punto de valoración al final del período de tiempo t

WC_{iu}^t : número de pacientes que están esperando recibir tratamiento en el punto de valoración u al final del periodo de tiempo t

PCC_{iu}^t : número de pacientes i que comienzan a recibir tratamiento en el punto de valoración u al final del periodo de tiempo t

X_{iwm}^t : número de pacientes que se transportaron del punto de valoración u al hospital general m durante el periodo de tiempo t

IH_{im}^t : número de pacientes i en el hospital general m al final del período de tiempo t

PCC_{im}^t : número de pacientes i que comienzan a recibir tratamiento en el hospital m al final del periodo de tiempo t

WC_{im}^t : número de pacientes que están esperando recibir tratamiento en el hospital m al final del periodo de tiempo t

ADC_{idu}^t : número de médicos d asignados para ayudar al paciente i en el punto de valoración u durante el tiempo periodo t

ADC_{idm}^t : número de médicos d asignados para dar tratamiento al paciente tipo i en el hospital m durante el periodo t

UDC_{au}^t : número de médicos que están en el proceso de tratar a pacientes en el punto de valoración u durante el periodo de tiempo t

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

UDH_{dm}^t : número de médicos que están en el proceso de tratamiento de pacientes en el hospital general m durante el periodo de tiempo t

Función objetivo:

$$Maximizar = \sum_{t=1}^t \sum_{j=1}^j \sum_{m=1}^m \sum_{u=1}^u [f_D(i, t).PCC_{iu}^t + f_{ID}(i, t).PCC_{im}^t] \quad (1)$$

Restricciones:

$$IDS_{ij}^t = IDS_{ij}^{t-1} + P_{ij}^t - \sum_{u=1}^u X_{iju}^t \quad (2)$$

$$IC_{iu}^t = IC_{iu}^{t-1} + \sum_{j=1}^j X_{iju}^{t-TM_{ju}} - \sum_{j=1}^j \sum_{m=1}^m X_{ium}^t - PCC_{iu}^{t-1} \quad (3)$$

$$IH_{im}^t = IH_{im}^{t-1} + \sum_{j=1}^j \sum_{u=1}^u X_{ium}^{t-TM_{um}} - PCC_{im}^{t-2} \quad (4)$$

$$WC_{iu}^t = WC_{iu}^{t-1} + \sum_{j=1}^j X_{iju}^{t-TM_{ju}} - PCC_{iu}^t \quad (5)$$

$$WC_{im}^t = WC_{im}^{t-1} + \sum_{j=1}^j X_{ium}^{t-TM_{um}} - PCC_{im}^t \quad (6)$$

$$PCC_{iu}^t \leq WC_{iu}^{t-1} + \sum_{j=1}^j X_{iju}^{t-TM_{ju}} \quad (7)$$

$$PCC_{im}^t \leq WC_{im}^{t-1} + \sum_{j=1}^j X_{ium}^{t-TM_{um}} \quad (8)$$

$$UDC_u^t = UDC_u^{t-1} + ADC_u^t - ADC_u^{t-TC_i} \quad (9)$$

$$UDH_m^t = UDH_m^{t-1} + ADC_m^t - ADC_m^{t-TC_{mi}} \quad (10)$$

$$UDC_u^t \leq NCD_u \quad (11)$$

$$UDH_m^t \leq NCD_m \quad (12)$$

$$ADC_u^t \leq UDC_u^t \quad (13)$$

$$ADC_m^t \leq UDH_m^t \quad (14)$$

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

$$ADC_u^t = \sum_{i=1}^i PCC_{iu}^t \quad (15)$$

$$ADC_m^t = \sum_{i=1}^i PCC_{im}^t \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^i IC_{iu}^t \leq CC_u \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^i IH_{im}^t \leq CH_m \quad (18)$$

$$IDS_{ij}^t, X_{iju}^t, IC_{iu}^t, WC_{iu}^t, PCC_{iu}^t, X_{ium}^t, IH_{im}^t, PCC_{im}^t, WC_{im}^t, ADC_{idu}^t, ADC_{idm}^t, UDC_{du}^t, UDH_{dm}^t, CH_m, CC_u \geq 0 \quad (19)$$

Descripción de las ecuaciones:

El objetivo del modelo, Ecuación (1), es maximizar el número de sobrevivientes de entre los pacientes rescatados en las áreas de desastre. La ecuación (2) es la cantidad de pacientes que esperan a ser trasladados de las áreas de desastre a algún punto de valoración. Las ecuaciones (3) y (4) describen el número de pacientes que se encuentran en los puntos de valoración y los hospitales generales, respectivamente. Las ecuaciones (5) y (6) muestran la cantidad de pacientes que esperan tratamiento en los puntos de valoración y los hospitales generales, respectivamente. Las ecuaciones (7) y (8) son las restricciones para la cantidad de pacientes que pueden ser tratados en el punto de valoración y en hospitales generales, respectivamente. Las ecuaciones (9) y (10) son las restricciones para la cantidad de médicos que tratan a pacientes en el período de tiempo t en los puntos de valoración y en los hospitales generales, respectivamente. Las ecuaciones (11) y (12) son las restricciones de la cantidad de médicos que tratan a pacientes en los puntos de valoración y en los hospitales generales, respectivamente. Las ecuaciones de la (13) a la (16) son las restricciones de asignación de los médicos en relación con la cantidad de pacientes que atienden. Las ecuaciones (17) y (18) describen la capacidad de atención de un punto de valoración

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

y un hospital general, respectivamente. Y finalmente la ecuación (19) es la restricción de la no negatividad de las variables que componen el modelo matemático.

7. Diseño de Algoritmo

Considerando el modelo logístico para el transporte de víctimas de catástrofes con diversas lesiones y probabilidades de supervivencia realizado por Jin et al. [44], se propone un algoritmo genético para la asignación de puntos de valoración y hospitales del modelo en cuestión.

7.1 Descripción detallada del algoritmo genético propuesto

El algoritmo comienza con la generación de una población inicial, es decir con un conjunto de cromosomas que son generados aleatoriamente; seguidamente se realiza la evaluación de la función objetivo a cada uno de los individuos, para lo que es necesario ejecutar el proceso de asignación en los 4 periodos de tiempo y decodificar. Luego se realiza el proceso de selección, donde se eligen las parejas que se convertirán en padres. Posteriormente se realiza el cruce de dichos padres dando lugar a 2 hijos por cada pareja, los cuales serán evaluados a través de la función objetivo como se realizó con la población inicial; después se realizará el proceso de mutación, el cual generará nuevas cromosomas, lo que implica que se volverá a evaluar la función objetivo de aquellos que son mutados. Finalmente se eligen las soluciones que sobreviven y que formarán la nueva generación, hasta que se cumpla el criterio de parada; se guardarán las mejores soluciones de cada generación, con el fin de elegir la que mejor se adapte al problema. En la *Figura 3* por medio de un diagrama de flujo se muestra de forma detallada el paso a paso del algoritmo genético propuesto.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

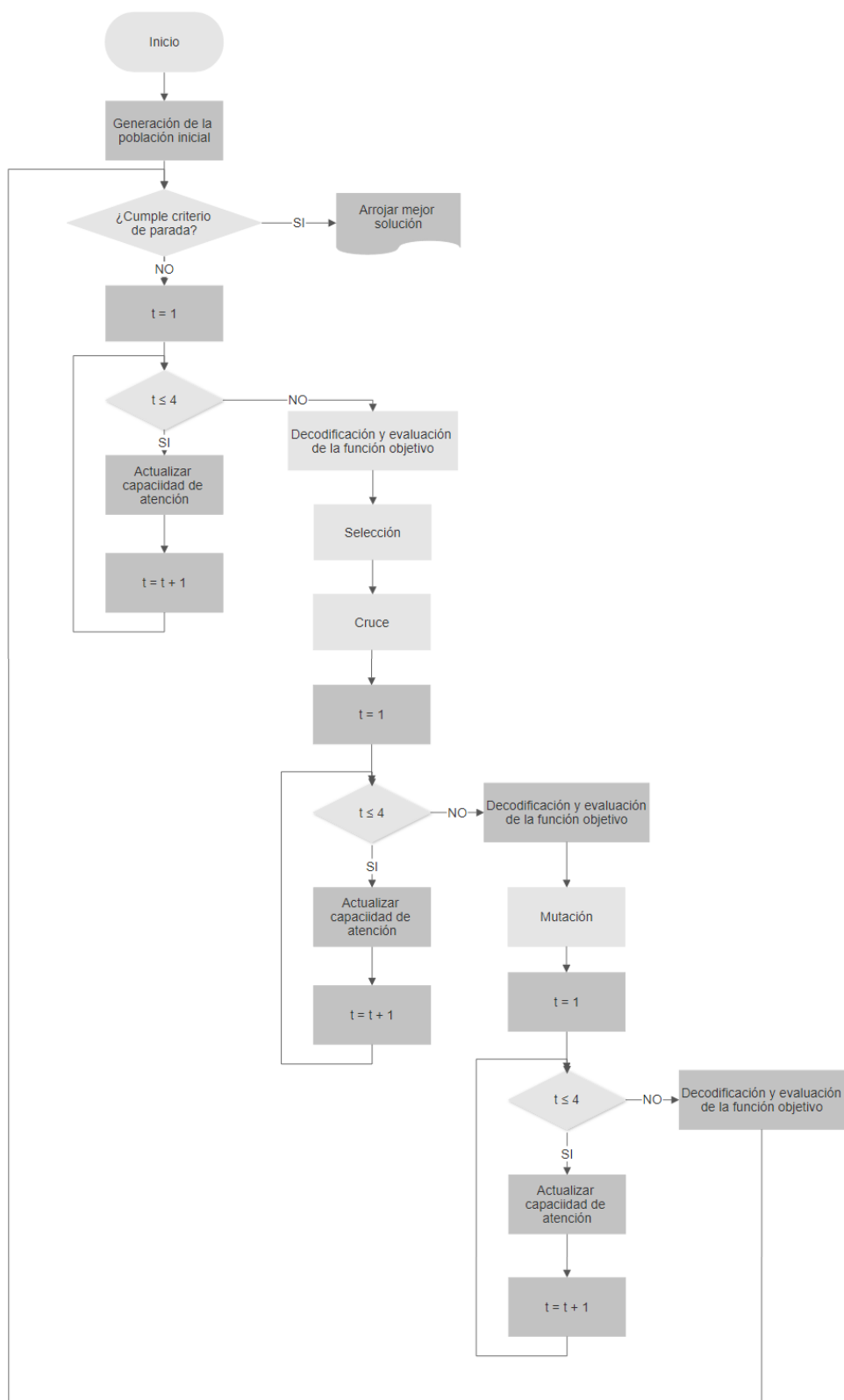


Figura 3. Diagrama de flujo de la descripción del algoritmo genético

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

7.1.1 Representación genética de los individuos.

La representación genética de los individuos en esta investigación consiste en un cromosoma compuesto por dos cadenas de números enteros, donde una representa la asignación de los puntos de valoración a las áreas de desastre y la otra la asignación de hospitales a dichos puntos de valoración.

El primer segmento del cromosoma consiste en una cadena de números enteros de longitud j , siendo j el número de áreas de desastre a asignar. El segmento representa la asignación a cada área de desastre (j) un punto de valoración (u), a un mismo punto de valoración le puede corresponder más de un área de desastre; por lo tanto, los números relacionados a los puntos de valoración pueden repetirse a fin de que todas las áreas de desastre tengan un punto de valoración asignado al cual trasladar los heridos. Por ejemplo, en un evento sísmico se producen 5 áreas de desastre para las cuales se tienen disponibles 4 puntos de valoración, al leer el segmento de cromosoma de la *Figura 4*. de izquierda a derecha, se puede observar que al área de desastre $j=1$ se le asignó el punto de valoración $u=2$, al $j=2$ el $u=1$, al $j=3$ el $u=3$ y finalmente al $j=4$ y $j=5$ el $u=4$.

$j \rightarrow$	1	2	3	4	5
$u \rightarrow$	2	1	3	4	4

Figura 4. Cromosoma de asignación: puntos de valoración

El segundo segmento del cromosoma es una cadena de números enteros de longitud u , donde se le asigna a cada punto de valoración (u) un hospital (m) para la evacuación de los heridos de prioridad 1 y 2, a un mismo hospital le puede corresponder más de un punto de valoración; por lo tanto, los números relacionados a los hospitales pueden repetirse a fin de que todos los puntos de valoración tengan un hospital asignado al cual trasladar las víctimas. Continuando el ejemplo

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

anterior, se tienen 4 puntos de valoración (u) y 2 hospitales (m), al leer el segmento de cromosoma de la *Figura 5*. de izquierda a derecha, se observa que al punto de valoración $u=1$ se le ha asignado el hospital $m=1$, al $u=2$ el $m=2$, al $u=3$ el $m=2$ y finalmente al $u=4$ el $m=1$.

$u \rightarrow$	1	2	3	4
$m \rightarrow$	1	2	2	1

Figura 5. Cromosoma de asignación: hospitales

7.1.2 Generación de la población inicial.

La población inicial en esta investigación se generará de manera aleatoria; es decir, que los espacios destinados a los genes en cada segmento del cromosoma son completados con números aleatorios, en el primer segmento los números irán desde 1 hasta u puntos de valoración disponibles; mientras que en el segundo segmento los números que conforman la solución serán desde 1 hasta m hospitales disponibles, debido a que cualquier combinación de números enteros en los segmentos del cromosoma es permitida.

7.1.3 Operador de selección.

El operador de selección tiene como objetivo seleccionar los individuos que se cruzaran para obtener los hijos o descendientes. Uno de los operadores de selección más utilizados es el de selección por torneo, el método de este operador consiste en realizar comparaciones directas entre los individuos. Dentro de este método existen dos versiones que son determinístico y probabilístico. En este proyecto el operador de selección que se aplicará será el de selección por torneo probabilístico.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Normalmente en la selección determinística se selecciona al azar un numero P de individuos, y entre estos se escoge el mejor para que pase a la siguiente generación, en el caso del método de selección probabilístico, cambia en el momento de escoger al ganador, debido a que se genera un numero aleatorio del intervalo $[0,1]$.Se debe fijar un parámetro p , con el cual se escogerá el individuo adecuado, si el numero generado aleatoriamente es mayor que el parámetro se escoge el individuo más alto y en caso contrario el menos apto. Generalmente el parámetro p toma valores en el rango $0.5 < p \leq 1$. [45]

7.1.4 Operador de cruce.

El operador de cruce en el algoritmo genético es de suma importancia, ya que este operador sirve para crear una nueva generación de individuos (hijos), a partir de la información generada por los padres. Existen diversos métodos para solucionar el cruce, en este caso se utilizará el método uniforme. Este método permite que cada gen descendiente tenga las mismas probabilidades de pertenecer a cualquiera de los dos padres, para realizar este cruce se necesita generar una malla con valores binarios (0;1) la cual se da de manera aleatoria y es de la misma longitud que los padres, las posiciones que coincidan entre los cromosomas y la malla determinaran los genes que pasaran a los hijos. [46]

Por ejemplo, tenemos dos cromosomas que en adelante se denominarán padre1 (p_1) y padre2 (p_2), estos cromosomas están compuestos por dos cadenas configurados de la siguiente manera $p_1[2,1,3,4,4]$ $[1,2,2,1]$ y $p_2 [1,4,2,2,3]$ $[1,2,2,0]$; para realizar el cruce de estos dos cromosomas y que den como resultados dos hijos, es necesario generar una malla binaria aleatoria compuesta por dos segmentos al igual que el cromosoma, a estos fragmentos de malla los denominaremos (m_1) y (m_2), donde, para este ejemplo toman la siguiente forma $m_1[1,0,0,1,0]$ y $m_2[1,0,1,0]$.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Luego, los genes del p1 que coincidan con la posición del número 1 y los del p2 con la posición del número 0 de la malla binaria, forman el hijo 1, tal y como lo muestra las *Figuras 6 y 7*.

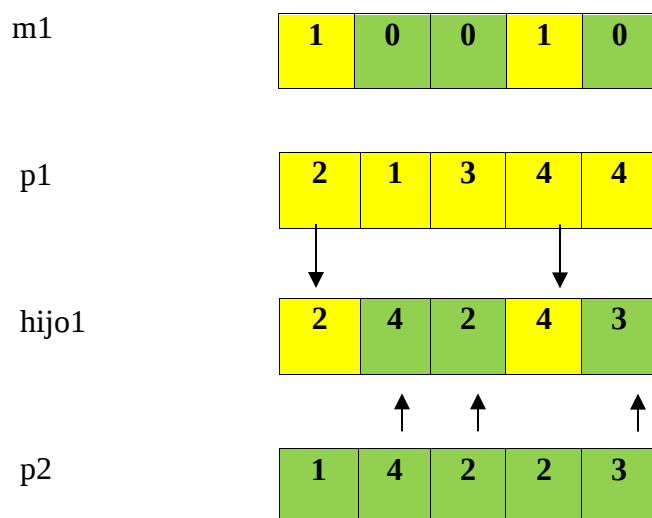


Figura 6. Cruce uniforme: hijo 1, segmento 1; asignación de zonas de desastre a puntos de valoración.

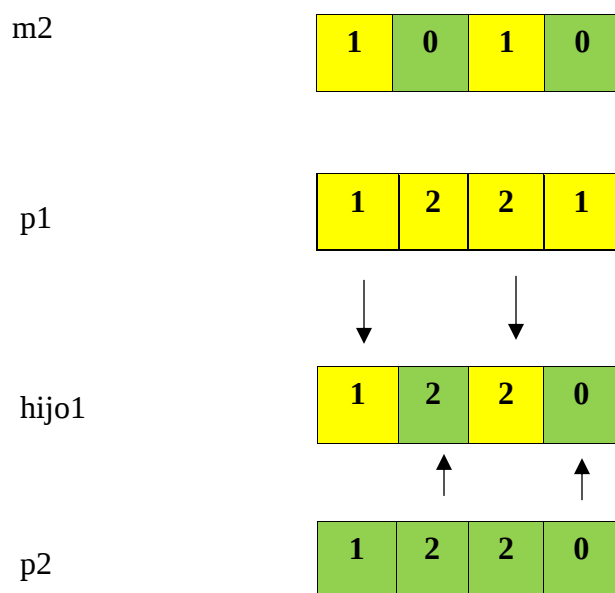


Figura 7. Cruce uniforme: hijo 1, segmento 2; asignación de los puntos de valoración a hospitales

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Para obtener un segundo hijo los papeles se intercambian, los genes que se transfieren al hijo 2 son aquellos del padre 1 que coincidan con la posición del número 0 y los del padre 2 que correspondan con el número 1 de la malla binaria ($m1$, $m2$), tal y como se muestra en las *Figuras 8 y 9*.

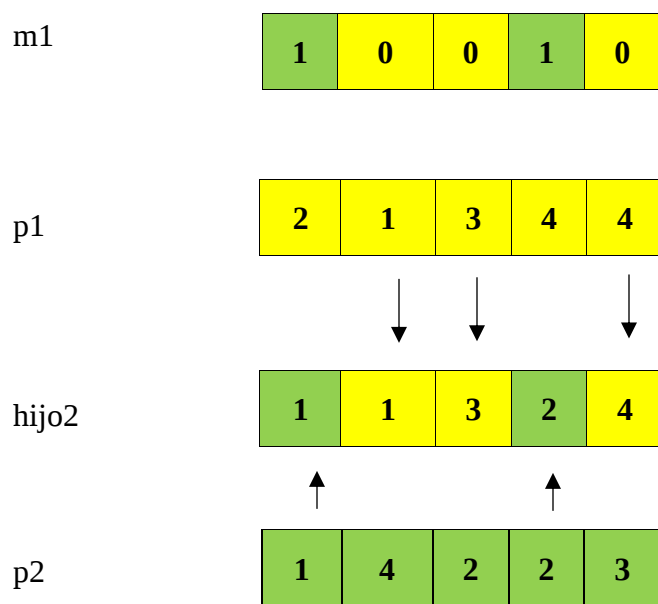


Figura 8. Cruce uniforme: hijo 2, segmento 1; asignación de zonas de desastre a puntos de valoración.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

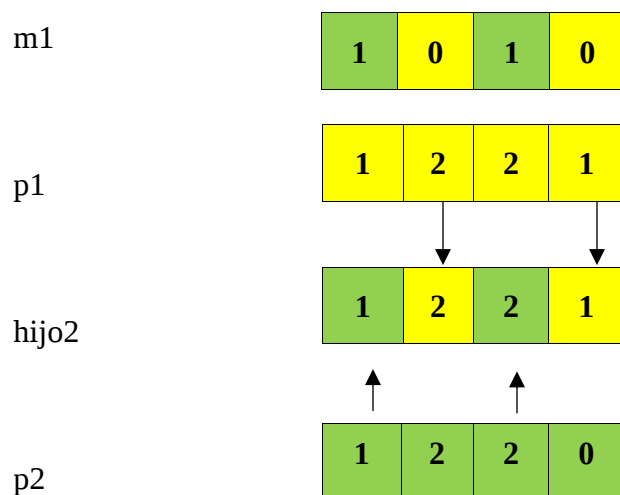


Figura 9. Cruce uniforme: hijo 2; segmento 2; asignación de puntos de valoración a hospitales

7.1.5 Operador de mutación.

El operador de mutación ayuda a que la población sea más diversa a través de la modificación de sus genes transformando levemente a los individuos. Para esta investigación se utilizará el operador de mutación de intercambio (swap), el cual consiste en escoger dos posiciones diferentes de manera aleatoria e intercambiar los genes que se encuentran en esta colocación. Para este caso se escoge el hijo 1, el cual se encuentra configurado de la siguiente forma [2,4,2,4,3] [1,2,2,0]. Para el segmento 1 se toman las posiciones 1 y 4, y para el segmento 2 las posiciones 1 y 3, y finalmente se realiza el intercambio respectivo en cada segmento, tal y como se muestra en la *Figura 10*.

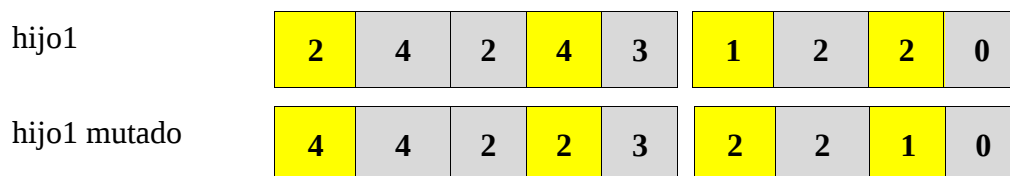


Figura 10. Mutación: hijo 1

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

7.1.6 Decodificación.

La decodificación del cromosoma hace relación a la interpretación del cromosoma, para establecer su valor fitness; esto se conoce como fenotipo. A continuación, se presenta un ejemplo donde se indica cómo se determina el valor de la función objetivo de un individuo (cromosoma)

Como se muestra en la *Figura 11*, se presenta un sismo que genera 5 áreas de desastre j y un total de 200 víctimas, que a su vez son clasificadas según el tipo de paciente i por cada área de desastre j en el que se encuentran; siendo $i=1$ pacientes de primera prioridad, $i=2$ pacientes de segunda prioridad e $i=3$ pacientes de tercera prioridad.

		tipo de paciente (i)			Total
		1	2	3	
Áreas de desastre (j)	1	14	13	13	40
	2	16	4	12	32
	3	31	7	10	48
	4	5	6	29	40
	5	11	18	11	40
				Total	200

Figura 11. Cantidad total de víctimas encontradas en áreas de desastre según su tipo de gravedad

El proceso de asignación de las víctimas generadas en el desastre sísmico se desarrolla durante 4 periodos de tiempo, donde cada periodo de tiempo t equivale a 2 horas. Con el fin de evaluar la función objetivo, que consiste en maximizar el número de sobrevivientes entre los pacientes rescatados de las áreas de desastre, se realiza la asignación de las víctimas de acuerdo a la lectura de izquierda a derecha de los genes que componen un cromosoma *Figura 12*.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

$j \rightarrow$	1	2	3	4	5	$u \rightarrow$	1	2	3	4
$u \rightarrow$	2	1	3	4	4	$m \rightarrow$	1	2	2	1

Figura 12. Cromosoma

Posteriormente, se realiza una matriz *figura 13*, la cual contiene el número de personas que son trasladadas de las áreas de desastre j a los puntos de valoración u correspondientes, con el fin de recibir atención primaria; los números que comprenden la matriz se formulan de manera aleatoria teniendo en cuenta que no pueden superar la capacidad disponible de cada punto de valoración u y que se clasifican según el tipo de paciente i . A medida que se van llenando las celdas de la matriz, se va actualizando la cantidad de pacientes que están en las áreas de desastre esperando a ser llevadas a los puntos de valoración *Figura 16*. respecto a los valores iniciales presentados en la matriz de la *Figura 11*.

La *Figura 14*, es la matriz de la cantidad de pacientes que son trasladados de los puntos de valoración u a los hospitales m para recibir tratamiento de acuerdo con la asignación correspondiente al segundo segmento del cromosoma; por razones de prioridad se asignan primero los pacientes tipo 1 y luego los pacientes tipo 2, hasta agotar las existencias o hasta ocupar toda la capacidad de los hospitales, lo que primero ocurra. A medida que se van trasladando los pacientes a los hospitales la disponibilidad del punto de valoración cambia y esto se puede apreciar en la *Figura 15*.

Como se muestra en las *Figuras 13 y 14*, la columna *Cap.* corresponde a la capacidad total de los puntos de valoración u y hospitales m respectivamente, estas capacidades de atención son agotadas, por tal motivo la columna de capacidad disponible Cd se encuentra en 0 en ambas matrices.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Las celdas sombreadas de color verde, naranja y rojo corresponden a los pacientes tipo 3, 2 y 1 respectivamente, que están siendo tratados en el periodo de tiempo t . Para este periodo de tiempo $t=1$, se tiene un total de 12 pacientes tipo 3 y 20 pacientes tipo 1 que reciben tratamiento.

t_1	i1	i2	i3	Cap.	Cd
u1	9	4	2	15	0
u2	7	3	10	20	0
u3	12	0	0	12	0
u4	2	6	0	8	0

Figura 13. Cantidad de heridos que son atendidos en los puntos de valoración

t_1	u1	u2	u3	u4	Cap.	Cd
m1	9	0	0	1	10	0
m2	0	7	3	0	10	0

Figura 14. Cantidad de heridos que reciben tratamiento en los hospitales

t_1	i1	i2	i3	Cap.	Cd
u1	0	4	2	15	9
u2	0	3	10	20	7
u3	9	0	0	12	3
u4	1	6	0	8	1

Figura 15. Capacidad de puntos de valoración actualizada.

t ₁		tipo de paciente (i)			Total
		1	2	3	
Áreas de desastre (j)	1	7	10	3	20
	2	7	0	10	17
	3	19	7	10	36
	4	5	6	29	40
	5	9	12	11	32
Total				145	

Figura 16. Cantidad de víctimas que se encuentran en las áreas de desastre al final del periodo de tiempo t .

En el primer periodo de tiempo se asignan 30 pacientes $i=1$ a los puntos de valoración, debido a la capacidad disponible, sólo 20 de ellos son trasladados a los hospitales para ser tratados en el mismo periodo de tiempo; esto indica que los 10 restantes tendrían que esperar hasta el periodo $t=3$ para ser llevados a los hospitales con capacidad de atención, pero, para entonces sólo tendrían un $P_s=10\%$, el cual está por debajo del nivel marginal $P_s=25\%$; por lo tanto, se asume que los

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

pacientes $i=1$ que no son tratados en el periodo $t=1$ mueren, y en este caso como se muestra en las celdas sombreadas de las *Figuras 15 y 16*, son 57 pacientes tipo 1 los que fallecen por falta de atención médica, de acuerdo con la asignación presentada en el cromosoma.

Al iniciar el periodo $t=2$ se tienen en cuenta los valores actualizados de la matriz inicial de la cantidad total de afectados, que corresponden a la *Figura 16*, además de las capacidades actuales disponibles de los puntos de valoración y los hospitales que se muestran en las *Figuras 15 y 14* respectivamente.

El procedimiento en los periodos consecutivos es semejante al presentado anteriormente para el periodo $t=1$. A continuación, se presentan las matrices correspondientes a los periodos $t=2$ hasta $t=4$ y su respectiva interpretación.

t_2	$i1$	$i2$	$i3$	Cap.	Cd
u1	0	4	10	15	1
u2	0	13	3	20	4
u3	0	7	5	12	0
u4	0	8	0	8	0

Figura 17. Cantidad de heridos que son atendidos en los puntos de valoración

t_2	u1	u2	u3	u4	Cap.	Cd
m1	9	0	0	1	10	0
m2	0	7	3	0	10	0

Figura 18. Cantidad de heridos que reciben tratamiento

t_2		tipo de paciente (i)			
Áreas de desastre (j)		1	2	3	Total
	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	5	5
	4	0	6	29	35
	5	0	10	11	21
Total					61

Figura 19. Cantidad de víctimas que se encuentran en las áreas de desastre al final del periodo de tiempo t

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Al iniciar el periodo de tiempo $t=2$ hay capacidad disponible en los puntos de valoración, debido a que los pacientes tipo 3 que fueron tratados en el periodo anterior se han desplazado a otro lugar, estos puntos de valoración son nuevamente ocupados por las personas que están esperando en las áreas de desastre a ser trasladadas para recibir atención. Como se observa en las Figuras 17 y 18 en este periodo de tiempo se atendieron a 18 pacientes tipo 3 en los puntos de valoración; los hospitales, sin embargo, siguen ocupados en su totalidad debido a que los pacientes asignados en $t=1$ continúan en tratamiento médico, hasta el final de este periodo de tiempo.

t_3	i1	i2	i3	Cap.	Cd
u1	0	4	0	15	11
u2	0	13	0	20	7
u3	0	7	5	12	0
u4	0	8	0	8	0

Figura 20. Cantidad de heridos que son atendidos en los puntos de valoración

t_3	u1	u2	u3	u4	Cap.	Cd
m1	4	0	0	6	10	0
m2	0	10	0	0	10	0

Figura 21. Cantidad de heridos que reciben tratamiento.

Al igual que el periodo de tiempo anterior, al iniciar el $t=3$ hay capacidad disponible en el punto de valoración, la cual es ocupada por los heridos que estaban esperando en las áreas de desastre a ser trasladados para recibir atención; en cuanto a los hospitales, han quedado desocupados, por lo tanto, los pacientes de mayor prioridad que están esperando en los puntos de valoración son trasladados para recibir tratamiento médico. A partir de las Figuras 20 y 21 se puede inferir que 5 pacientes tipo 3 han recibido atención en los puntos de valoración y que 20 pacientes tipo 2 empiezan a recibir tratamiento médico en los hospitales en este periodo de tiempo $t=3$.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

t_3	i1	i2	i3	Cap.	Cd
u1	0	0	0	15	15
u2	0	3	0	20	17
u3	0	7	5	12	0
u4	0	2	0	8	6

Figura 22. Capacidad de puntos de valoración actualizada.

t_3		tipo de paciente (i)			
		1	2	3	Total
Áreas de desastre (j)	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	6	29	35
	5	0	10	11	21
Total					56

Figura 23. Cantidad de víctimas que se encuentran en las áreas de desastre al final del periodo de tiempo t

Para el periodo de tiempo $t=4$ se hace lo mismo que en los anteriores, se ocupan las capacidades disponibles de los puntos de valoración con los pacientes que necesitan atención y en los hospitales continúan recibiendo tratamiento médico los heridos que fueron asignados en el periodo de tiempo anterior. En la Figura 24. se puede apreciar que solo 6 personas recibieron tratamiento en el periodo de tiempo $t=4$ en los puntos de valoración.

t_4	i1	i2	i3	Cap.	Cd
u1	0	0	0	15	15
u2	0	3	0	20	17
u3	0	7	0	12	0
u4	0	2	6	8	0

Figura 24. Cantidad de heridos que son atendidos en los puntos de valoración

t_4	u1	u2	u3	u4	Cap.	Cd
m1	4	0	0	6	10	0
m2	0	10	0	0	10	0

Figura 25. Cantidad de heridos que reciben tratamiento.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

t_4		tipo de paciente (i)			Total
		1	2	3	
Áreas de desastre (j)	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	1	29	30
	5	0	10	5	15
				Total	50

Figura 26. Cantidad de víctimas que se encuentran en las áreas de desastre al final del periodo de tiempo t

Una vez realizada la asignación de las víctimas del desastre sísmico a los puntos de valoración y los hospitales durante los 4 periodos de tiempo, se analiza la información resultante para luego dar solución a la función objetivo. En la *Figura 24* se puede observar que 12 pacientes tipo 2 han quedado en los puntos de valoración en espera de ser trasladados a los hospitales por atención médica, en la *Figura 26* se evidencia que 50 personas han quedado en las áreas de desastre esperando a ser trasladadas a los puntos de valoración por tratamiento médico, y en total 81 víctimas recibieron atención médica en los puntos de valoración y en los hospitales durante los 4 periodos de tiempo como se muestra en la *Figura 27*. De las 57 personas restantes, 10 son pacientes tipo 1 que mueren en los puntos de valoración esperando a ser trasladados a los hospitales para recibir tratamiento especializado, como se observa en la *Figura 15*. y 47 son pacientes de prioridad 1 que mueren en las áreas de desastre esperando ser trasladados para recibir atención médica como se muestra en la *Figura 17*.

La *Figura 28* corresponde a las probabilidades que tienen los pacientes según su tipo de gravedad y periodo t , donde las probabilidades van disminuyendo linealmente a medida que pasa el tiempo. Las celdas que se encuentran sombreadas hacen relación a las P_s que se encuentran

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

por debajo del nivel marginal, por lo tanto, las personas con esa condición pasan de ser prioridad 1 a prioridad 0 por su poca probabilidad de que sobrevivan.

		(t) periodos de tiempo				Total
		1	2	3	4	
tipo de paciente (i)	1	20	0	0	0	20
	2	0	0	20	0	20
	3	12	18	5	6	41

Figura 27. Cantidad de pacientes tipo i que reciben tratamiento en el periodo de tiempo t.

		(t) periodos de tiempo				
		0	1	2	3	4
tipo de paciente (i)	1	35%	27%	18%	10%	1%
	2	50%	45%	40%	36%	31%
	3	70%	69%	68%	66%	65%

Figura 28. Probabilidad de supervivencia P_s de los pacientes tipo i en los periodos de tiempo t

Finalmente, se da solución a la función objetivo de acuerdo con los datos suministrados en las Figuras 27 y 28. donde podemos apreciar la cantidad de pacientes tipo 3 que fueron llevados a los puntos de valoración para atención médica y la cantidad de pacientes tipo 1 y 2 que recibieron atención especializada en los hospitales en cada periodo de tiempo t. Teniendo en cuenta esta información y los P_s de cada tipo de paciente para cada periodo de tiempo t en que son tratados, la función objetivo da como resultado que 40 personas sobreviven al desastre sísmico en un lapso de 8 horas correspondientes a 4 periodos de tiempos.

8. Estudio del caso

A fin de evaluar el modelo propuesto, se realiza un estudio de caso para la asignación de víctimas por desastre sísmico a puntos de valoración médica, considerando diferentes lesiones y probabilidades de supervivencia en la ciudad de Bucaramanga (Santander, Colombia).

8.1 Descripción del caso

El estudio se lleva a cabo en la ciudad de Bucaramanga (Santander). La capital santandereana es un escenario de estudio viable ya que la ciudad ha tenido un crecimiento urbanístico importante y además se encuentra situada en un punto de constante actividad sísmica, más específicamente se encuentra sobre el nido sísmico o enjambre sísmico situado a 150 km de profundidad y a 50 km al sur de la capital Santandereana entre las poblaciones de Umpalà y Cepitá.

En este estudio se trabajaran 5 de las 17 comunas que hay en la ciudad de Bucaramanga las cuales son: comuna Norte (1), Nororiental(2), Cabecera del llano(12), Oriental(13), Morrorico(14), debido a que estas se encuentran en las zonas más vulnerables de la ciudad según el estudio de Maldonado y Chío [47]

8.1.1 Red de emergencia.

Para la elaboración de la red de emergencias de Bucaramanga, se empleó el sistema de información geográfico de la API de Google maps, debido a que esta herramienta proporciona la geolocalización de todos los puntos contenidos en la red de emergencia, acceso sobre los sentidos viales de las carreteras y la representación de la solución a los dos escenarios que se van a desarrollar, con magnitud sísmica diferente entre sí. La información comprendida en la red,

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

corresponde a una serie de investigaciones llevadas a cabo por Barrera y Gómez [19], Barreto y Niño [48], Contreras y Martínez [49] y Aguilar [50].

Sobre el mapa de Bucaramanga, se identificaron las fallas geológicas que atraviesan la ciudad *Figura 29*, los organismos de socorro (defensa civil, bomberos, policía nacional, quinta brigada) y los principales hospitales *Figura 30*, las vías de emergencia determinadas por el consejo municipal para la gestión del riesgo *Figura 31*, las comunas por las cuales se encuentra dividida Bucaramanga *Figura 32* y la zonificación geomórfica de acuerdo a lo propuesto por Maldonado y Chío [47] *Figura 33*. Esta red de emergencia se encuentra disponible en el siguiente enlace:

[Red de Emergencia](#)

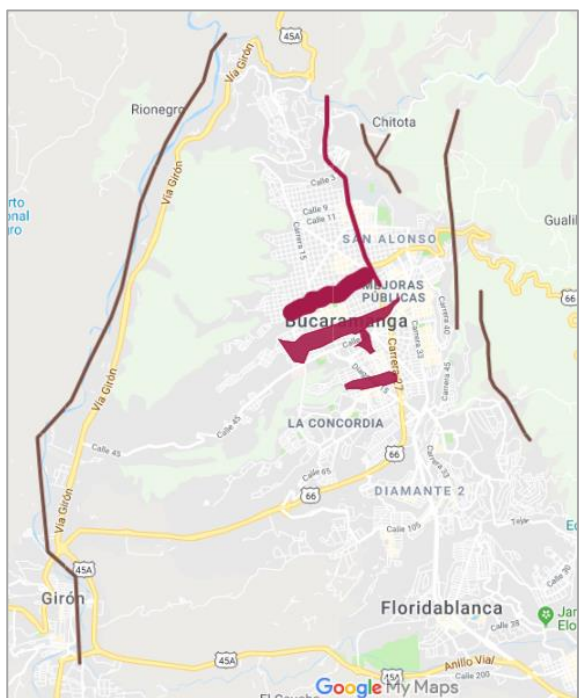


Figura 29. Fallas geológicas Bucaramanga

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

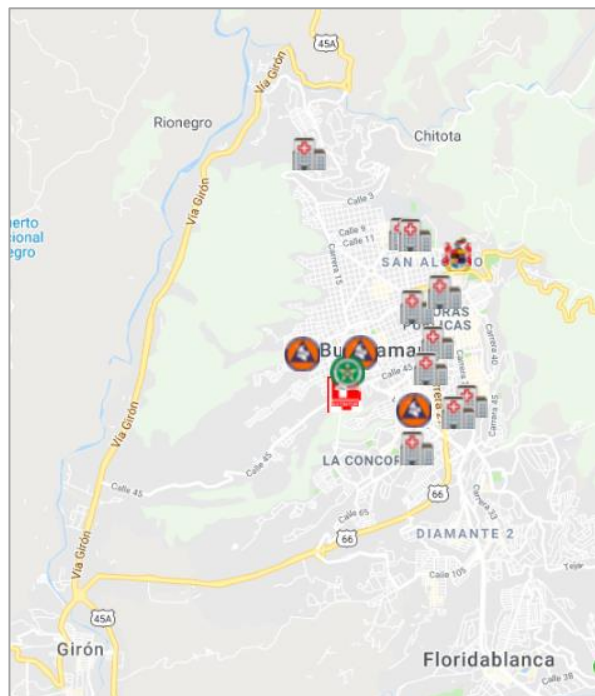


Figura 30. Organismos de socorro y hospitales

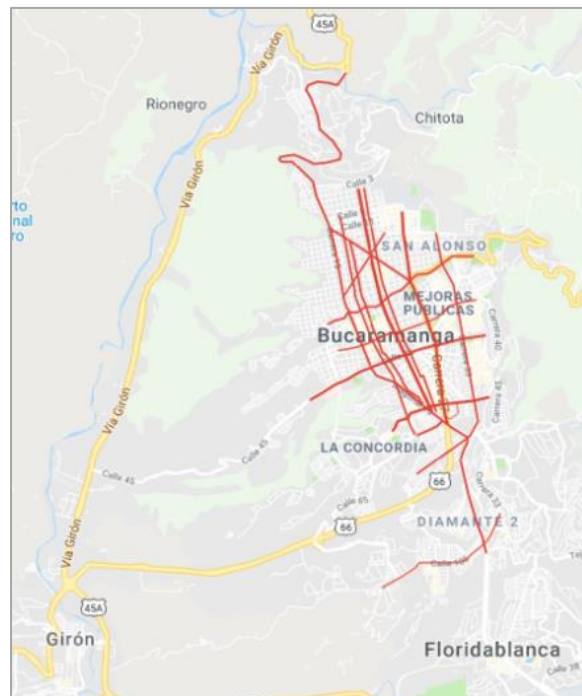


Figura 31. Vías de emergencia

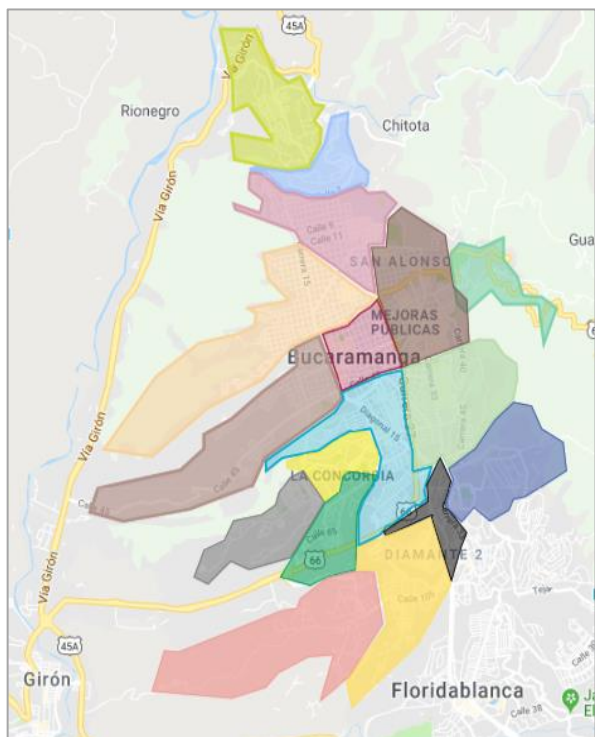


Figura 32. Comunas Bucaramanga

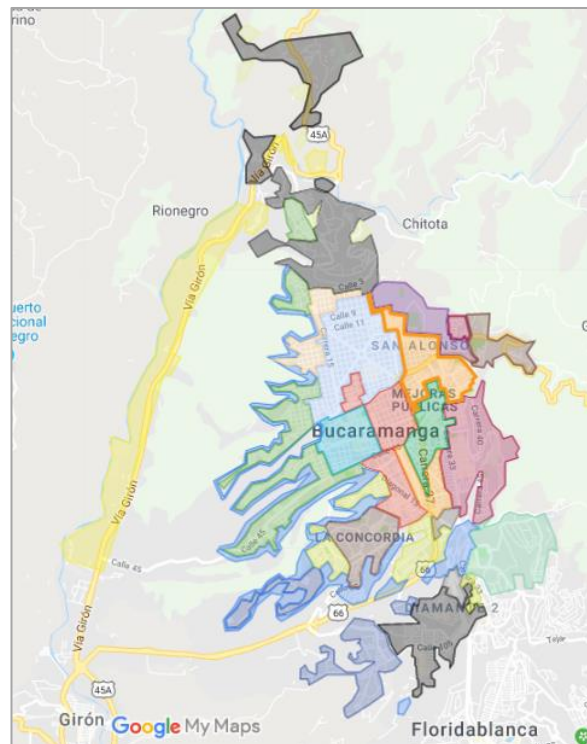


Figura 33. Zonificación geomórfica de Bucaramanga

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

8.1.2 Generación de escenarios.

En este estudio del caso, se lleva a cabo dos escenarios de prueba, el primero es un evento sísmico con magnitud de 6 y el segundo de 8, de acuerdo con la escala de Mercalli. Para la generación de los escenarios se tiene en cuenta la información descrita en este capítulo.

8.1.2.1 Nodos de la red de emergencia.

Para los dos escenarios, se tiene en cuenta la información proporcionada por Google Maps sobre los sentidos viales de las carreteras que comunican los nodos de la red y se asume que las vías de emergencia se encuentran en buen estado para ser transitadas una vez ocurra el sismo. Los nodos que componen la red de emergencia son:

8.1.2.1.1 Áreas de desastre.

Se consideran áreas de desastre a las regiones que por su proximidad a las fallas geológicas y la vulnerabilidad a la que están expuestas, en caso de un evento sísmico pueden llegar a sufrir grandes daños a nivel estructural y social, generando una cantidad considerable de personas heridas. Para estos escenarios se han determinado 5 áreas de desastre de 250.000 metros cuadrados cada uno.

8.1.2.1.2 Puntos de valoración.

Se consideran puntos de valoración a los campamentos médicos improvisados que se instalan cerca de las áreas de desastre para la atención primaria de las víctimas, de manera que los afectados reciban el tratamiento adecuado según la gravedad de sus lesiones, para que, en caso de ser necesario, sea posible el traslado a un centro médico especializado; estos puntos de

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

valoración se localizarán en la cancha sintética del barrio Kennedy, en la cancha sintética la esperanza 3 norte, el parque del agua y el parque las palmas.

8.1.2.1.3 Hospitales.

Son los centros de atención médica especializada, que cuentan con los equipos necesarios para intervenir a las víctimas más graves, en este caso, los pacientes con prioridad 1 y 2; los hospitales que se utilizarán para el escenario son: el hospital local del Norte, clínica la Merced, clínica Chicamocha S.A, el hospital universitario de Santander y la clínica de Bucaramanga.

En la *Figura 34* se puede apreciar el mapa de la ciudad de Bucaramanga con las áreas de desastres delimitadas, los puntos de valoración y los hospitales que se usaran para el escenario de prueba.

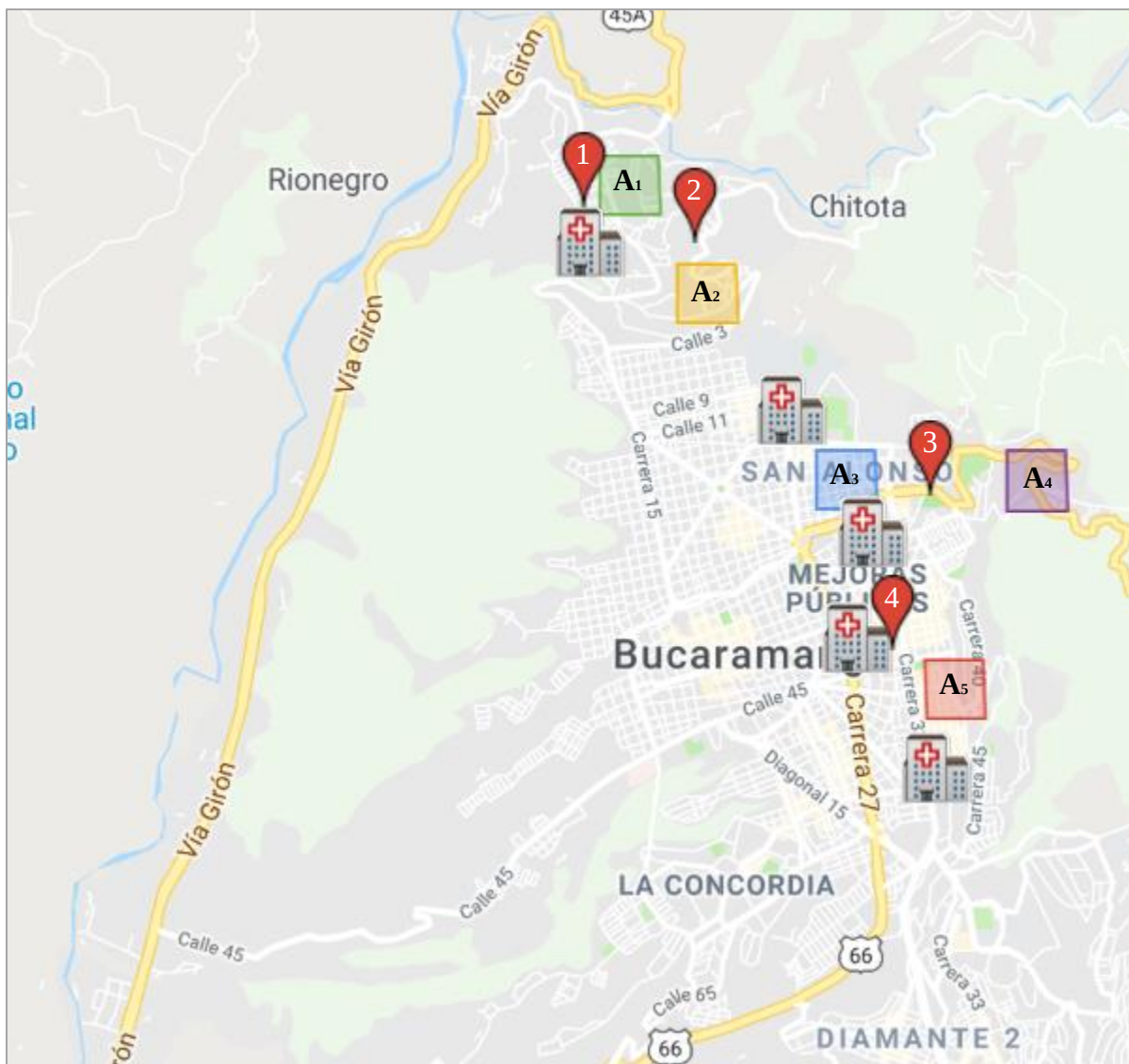


Figura 34. Escenario de prueba

8.1.3 Estimación de las zonas de emergencia.

La determinación de las áreas de desastre se realizó con base en la investigación realizada por Maldonado y Chío [47], ya que esta muestra las zonas más vulnerables en caso de un evento sísmico, como se observa en la Tabla 1. En la investigación se trabajarán dos escenarios de desastre, el primer escenario tendrá una intensidad de 6 y el segundo una intensidad de 8 en la

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

escala de Mercalli, para las cuales se genera la emergencia en las zonas 12, 18 ,9A y 11 de acuerdo con la zonificación geomórfica.

Tabla 1. *Zonas afectadas por nivel de intensidad de Mercalli*

NIVEL DE AFECTACIÓN	NIVELES DE INTENSIDAD				
	VI	VII	VIII	IX	X
1	Zona 12	Zona 12	Zona 12	Zona 12	Zona 12
2	Zona 18	Zona 18	Zona 18	Zona 18	Zona 18
3	Zona 9ª y 11	Zona 9ª y 11	Zona 11	Zona 11	Zona 13
4			Zona 9	Zona 13	Zona 11
5				Zona 6 y 4	Zona 6
6					Zona 4
7					Zona 17

Nota: Zonas afectadas según intensidad del sismo y nivel de afectación. Fuente: Maldonado y Chio [47]

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

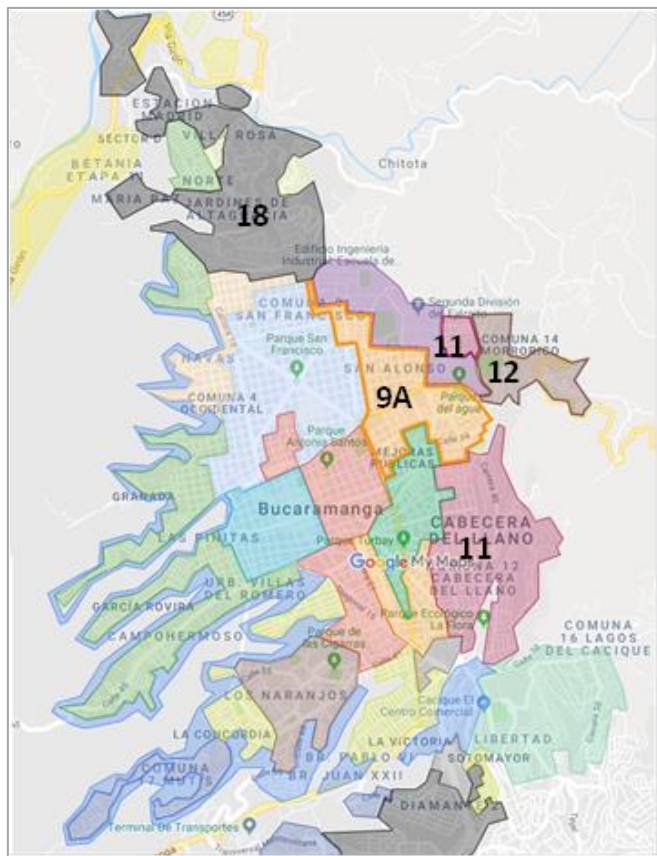


Figura 35. Zonas vulnerables según zonificación geomórfica

8.1.4 Estimación de afectados.

Es importante tener una estimación de las víctimas que se puedan producir en caso de un movimiento telúrico, dicha estimación se realiza para las zonas de la ciudad más vulnerables a este tipo de escenarios, que según lo expuesto anteriormente son las zonas 12, 11, 18 y 9A. El número de víctimas que se pueden generar va ligado a dos factores: la densidad poblacional y la intensidad del sismo. Específicamente el estudio de la población se realizará en las comunas de Morrorico perteneciente a la zona 12, cabecera que se encuentra en la zona 11, oriental ubicada en la zona 9A y en las comunas norte y nororiental que están en la zona 18, esto de acuerdo a la zonificación geomórfica de la ciudad.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Para la estimación de los habitantes se tuvo en cuenta la información de la población de cada una de las comunas del año 2012 [51] y la proyección de población de la cabecera municipal de Bucaramanga realizada por el DANE [52]. Debido a que no se cuenta con la información de la cantidad de habitantes por comunas de la ciudad en el 2019, se tomó la cantidad de personas que habitan en cada una de las comunas que son objeto de estudio del año 2012 y se dividió sobre el total de habitantes de la cabecera municipal de la ciudad en el mismo año, para así obtener una tasa porcentual de las comunas en relación con la población de la ciudad, los valores resultantes fueron: Morrорico 4,4%; Cabecera 6,4%; Oriental 10,1%; Norte 10,4%; Nororiental 6,7%. Estos porcentajes se utilizan para poder establecer un estimado de la población por comunas en el año 2019 en donde la población total fue de 522.353 personas, además se tiene en cuenta el área en km² de cada una de las comunas, para poder determinar el número de habitantes por km² de cada una de ellas y posteriormente extraer el número de afectados por área de desastre que es un 25 % de la población por km² como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. *Cantidad de habitantes por comuna de las zonas vulnerables*

Zona	12	11		18		9A
Comuna	Morrорico	Cabecera	Oriental	Norte	Nororiental	Oriental
Habitantes	22.983	33.430	52.757	54.324	34.997	52.757
Área (km²)	1,17	2,67	2,66	2,36	1,08	2,66
Hab/km²	19.643	12.520	19.833	23.018	32.404	19.833
Personas por área	4.910	3.130	4.958	5.754	8.101	4.958

El número de víctimas generadas en las áreas de desastre por sismos de magnitud 6 y 8 se pueden observar en las Tablas 4 y 5 respectivamente, la cantidad total de personas afectadas se determinó mediante los porcentajes que se encuentran en la Tabla 3, dichos porcentajes se fijaron con base al estudio de las zonas de vulnerabilidad de la ciudad realizado por Maldonado y Chío [47]. Se

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

establece que el porcentaje que corresponde a cada tipo de paciente se tomará así: 5% para los pacientes tipo1, el 20% para los tipo 2 y el 75% para los tipo 3, estos porcentajes se extraen de la cantidad total de heridos en el área.

Tabla 3. *Porcentaje de la población que resulta herida en cada área de desastre*

Áreas de Desastre	Norte	Nororiental	Oriental	Morrórico	Cabecera
Magnitud 6	7%	7%	5%	10%	5%
Magnitud 8	30%	30%	10%	30%	10%

Tabla 4. *Víctimas generadas por área de desastre para el escenario 1*

	AREAS DE DESASTRE				
Intensidad 6	Norte	Nororiental	Oriental	Morrórico	Cabecera
Tipo 1	20	28	12	25	8
Tipo 2	81	113	50	98	31
Tipo 3	302	426	186	368	118
Total	403	567	248	491	157

Tabla 5. *Víctimas generadas por área de desastre para el escenario 2*

	AREAS DE DESASTRE				
Intensidad 8	Norte	Nororiental	Oriental	Morrórico	Cabecera
Tipo 1	86	122	25	74	16
Tipo 2	345	486	99	295	63
Tipo 3	1295	1822	372	104	234
Total	1726	2430	496	1473	313

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

8.1.5 Estimación de la capacidad de los puntos de atención médica.

Con base en la información suministrada por la alcaldía de Bucaramanga del Plan Local de Emergencias y Contingencias (PLECs), se extrajeron los inventarios de los organismos de socorro (Tabla 6) y el inventario de las entidades de salud (Tabla 7) para determinar los puntos de valoración y hospitales que se considerarán en el estudio del caso y la capacidad correspondiente a cada uno de ellos.

El personal médico asignado para prestar atención primaria en los puntos de valoración, corresponden a la Clínica Materno Infantil San Luis y la Clínica Metropolitana, los cuales no se tuvieron en cuenta para el escenario debido a la lejanía con las áreas de desastre.

Tabla 6. *Inventario de los organismos de socorro Bucaramanga.*

	Bomberos	Cruz roja	Defensa civil	Ejercito	Policía	Total
Camillas	11	16	47	4	9	87
inmovilizador vertical	2	16	10	0	0	28
Cuellos ortopédicos	2	2	0	0	0	4
férula espinal	2	0	0	0	0	2
Carpas	4	9	13	4	0	30
Suministros médicos	0	0	15	0	0	15

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Tabla 7. *Inventario de los hospitales de Bucaramanga*

	Clínica San Luis	Clínica Metropolitana	Hospital Local del Norte	Clínica la Merced	Clínica Bucaramanga	Clínica Chicamocha	Hospital Universitario de Santander	Total
Camas	3	15	12	37	14	80	48	191
Quirófanos	0	4	3	4	6	4	9	26
Cirujanos	0	4	6	1	5	5	0	17
Médico especialista	26	38	32	17	52	97	103	301
Enfermeros	35	27	6	22	30	44	72	174

Teniendo en cuenta que el periodo de tiempo t equivale a dos horas y que el tiempo de duración para la atención primaria a un paciente en el punto de valoración en este caso de estudio equivale a 15 minutos, se calcula la tasa de rotación médica, la cual, al ser multiplicada por la cantidad de personal médico (enfermeros y médicos) asignado a los puntos de valoración se tiene como resultado final las capacidades totales de atención en cada uno de ellos (Tabla 8). En el caso de las capacidades de los hospitales, estas se ven reflejadas en la cantidad de personal médico (cirujanos y médicos especialistas) establecido en cada centro asistencial (Tabla 9).

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Tabla 8. *Capacidad de atención de los puntos de valoración*

N°	Puntos de valoración	Médicos	Enfermeros	Total personal médico	Capacidad
1	Cancha Sintética del Barrio Kennedy	13	10	23	184
2	Cancha Sintética La Esperanza 3 Norte	11	7	18	144
3	Parque del Agua	24	25	49	392
4	Parque las Palmas	16	20	36	288

Tabla 9. *Capacidad de atención en los hospitales*

N°	Hospitales	Cirujanos	Médicos	Capacidad
1	Hospital Local del Norte	6	32	38
2	Clínica la Merced	1	17	18
3	Clínica Chicamocha S. A	5	52	57
4	Hospital Universitario de Santander	5	97	102
5	Clínica Bucaramanga	0	103	103

8.1.6 Estimación de la probabilidad de supervivencia.

Se asume que una vez ocurrido el evento sísmico se generan pacientes de tres tipos según la gravedad de sus heridas, el tipo 1 que son las personas que requieren de atención inmediata, el tipo 2 que tienen heridas graves pero, no involucran compromiso vital y el tipo 3 que presentan heridas leves; por lo tanto, a cada tipo de paciente se le estableció un porcentaje de P_s para el tiempo $t=0$ que es cuando se genera la emergencia, el cual disminuye de forma lineal de acuerdo con las tasas porcentuales por minuto 0.07% para los pacientes tipo 1, 0.04% para los tipo 2 y 0.01% para los tipo 3, como se puede apreciar en la tabla 10.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

Tabla 10. *Probabilidad de supervivencia de los pacientes tipo i en el periodo de tiempo t*

Tipo de paciente	Periodos de tiempo				
	0	1	2	3	4
1	35%	27%	18%	10%	1%
2	50%	45%	40%	36%	31%
3	70%	69%	68%	66%	65%

Se asume que las tasas de disminución de la P_s de las personas al trasladarse de las áreas de desastre a los puntos de valoración es la misma que la de los pacientes que siguen esperando en las áreas de desastre a ser evacuadas, ya que no han recibido tratamiento alguno; sin embargo, las tasas de disminución de la P_s de los pacientes que son trasladados de los puntos de valoración a los hospitales, son mucho más bajas, debido a que ya han recibido atención primaria y el transporte asistencial cuenta con el equipo necesario para estabilizar a los heridos durante el viaje. En la tabla 11, se pueden apreciar las tasas de disminución por minuto de la P_s durante el traslado de las víctimas hacia los puntos de valoración y hospitales.

Tabla 11. *Tasa de disminución por minuto de la P_s de los pacientes al trasladarse a los puntos de valoración y hospitales.*

TASA DE DISMINUCIÓN DE (P_s) POR MINUTO		
Tipo de paciente	Puntos de valoración	Hospitales
1	0,07%	0,02%
2	0,04%	0,01%
3	0,01%	

8.1.7 Tiempos.

La toma de los tiempos de traslado asistencial de víctimas desde las áreas de desastre a los puntos de valoración y desde los puntos de valoración a los hospitales, Tabla 10 y Tabla 11

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

respectivamente, se determinaron a través de la API de Google; esta interfaz permite conocer cuál es la ruta más corta e indica la distancia en unidades de longitud y el tiempo de recorrido entre un punto de partida y un lugar de destino. Se asume que esta ruta corta estará disponible para ser transitada por el vehículo de emergencia. En la *Figura 35* se muestra un ejemplo de la toma del tiempo del punto de valoración 2 al hospital 1.

Tabla 12. *Tiempo de recorrido en minutos entre áreas de desastre y puntos de valoración*

Áreas de desastre	Puntos de valoración			
	1	2	3	4
1	5	10	18	20
2	8	2	16	17
3	14	15	4	9
4	22	23	6	11
5	21	21	9	6

Tabla 13. *Tiempo de recorrido en minutos entre los puntos de valoración y hospitales*

Puntos de valoración	Hospitales				
	1	2	3	4	5
1	2	11	17	14	23
2	10	14	20	17	25
3	14	6	7	4	11
4	16	9	2	8	6

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

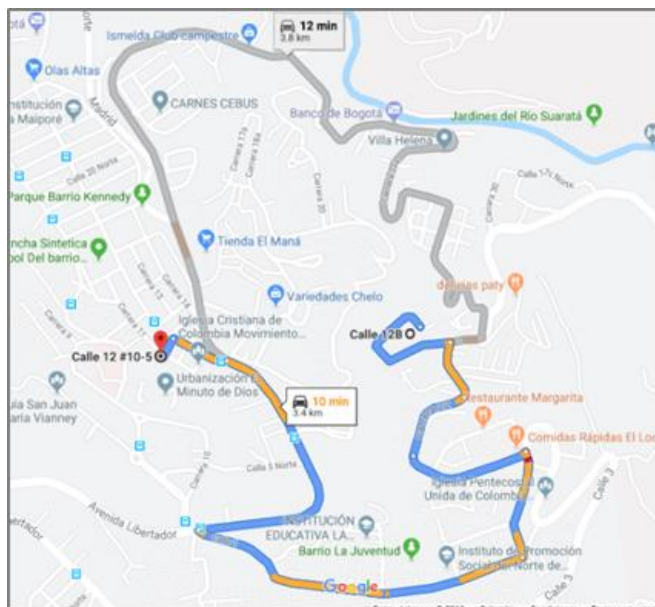


Figura 36. Ejemplo toma de tiempos API Google

9. Resultados y análisis

Según el estudio del caso descrito en la sección anterior, se elaboran 2 escenarios de prueba, los cuales tienen una intensidad de 6 y 8 de acuerdo con la escala de Mercalli. Estos escenarios poseen las mismas condiciones a excepción de la cantidad de víctimas que se generan en las áreas de desastre, ya que estas dependen del nivel de intensidad; a estas instancias de prueba se les aplica el algoritmo genético propuesto en la sección 9.

Los resultados generados por el algoritmo se dan por la exploración de los escenarios propuestos, el cual encuentra una solución factible representada mediante un cromosoma. Al finalizar los 4 periodos de tiempo propuestos, el algoritmo muestra los resultados de la configuración del mejor cromosoma, donde se expone cuántos de ellos sobreviven; la cantidad de personas que mueren por falta de atención médica a tiempo o que quedan esperando en las áreas de desastre y en los puntos de valoración para ser trasladadas. El pseudocódigo del algoritmo genético puede ser consultado en el siguiente enlace [Pseudocódigo Algoritmo](#)

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

9.1 Resultados escenarios

Los dos escenarios planteados, fueron solucionados por medio del algoritmo genético propuesto. Este algoritmo considera los heridos generados por tipo de paciente en las 5 áreas de desastre, las capacidades de los 4 puntos de valoración y de los 5 hospitales; también tiene en cuenta los tiempos de traslado de las víctimas a fin de conocer la probabilidad de supervivencia de la persona al momento de llegar al centro asistencial y recibir atención médica, de manera que, si no es viable enviar al herido al centro médico porque su P_s está por debajo del nivel marginal (25%) durante el recorrido o cuando llegue a su destino, no lo envía; dándole la oportunidad a otra persona que tenga más probabilidades de sobrevivir.

Al ejecutarse el algoritmo, este considera una población inicial de 20 individuos generados de manera aleatoria. La selección de los individuos que se cruzarán para obtener descendientes se realiza por medio de torneo probabilístico, donde la cantidad de individuos que entran a competir son 4 y el parámetro de probabilidad establecido para ajustar la presión de selección es de 0,7. El cruce de los 10 pares seleccionados se realiza por cruce uniforme, por lo que se requiere generar una malla binaria aleatoria para que cada pareja de padres produzca 2 descendientes; con el fin de que la población sea más diversa, el algoritmo usa un operador de mutación de intercambio, al cual se le estableció una tasa del 5%. Los individuos generados por el algoritmo genético son evaluados por medio de la función objetivo, y los resultados obtenidos son almacenados con el fin de determinar el individuo que mejor se adapta a las condiciones establecidas al finalizar las 100 generaciones.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

9.1.1 Escenario 1: sismo con nivel de intensidad 6.

Para este escenario, se produjo un total de 1.866 víctimas distribuidas en las 5 áreas de desastre correspondientes a las comunas Norte, Nororiental, oriental, Morrórico y cabecera; a su vez, los heridos se encuentran clasificados según el tipo de gravedad de sus heridas como se muestra en la *Figura 37*.

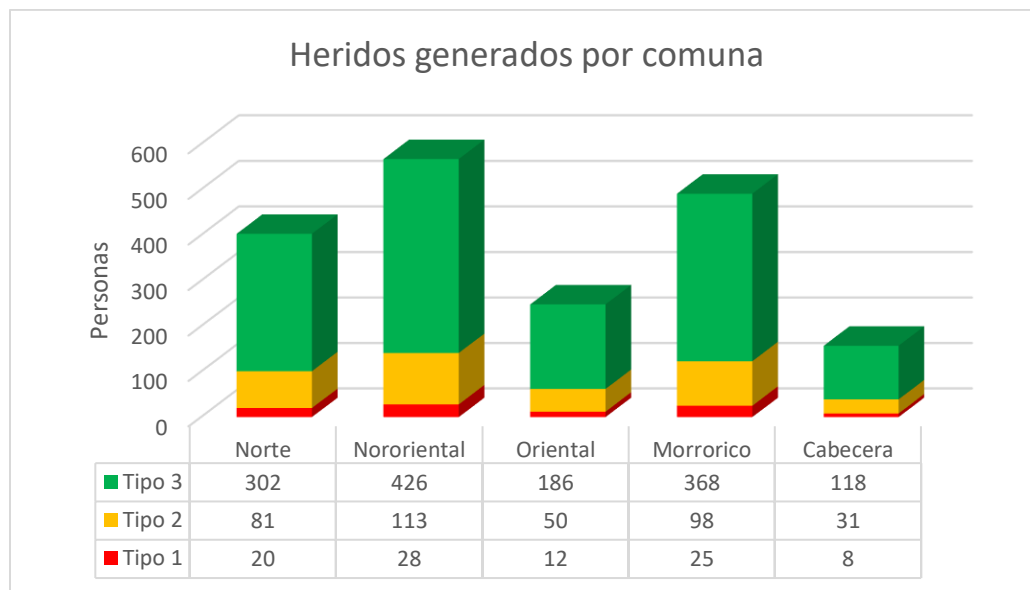


Figura 37. Heridos generados en un evento sísmico de intensidad 6 en la ciudad de Bucaramanga

Al finalizar la ejecución del programa, se obtiene la gráfica del comportamiento de los individuos generados por el algoritmo genético durante las 100 generaciones *Figura 38*, donde se aprecia la cantidad de personas que sobreviven según la configuración del mejor individuo y de la media de todos los individuos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

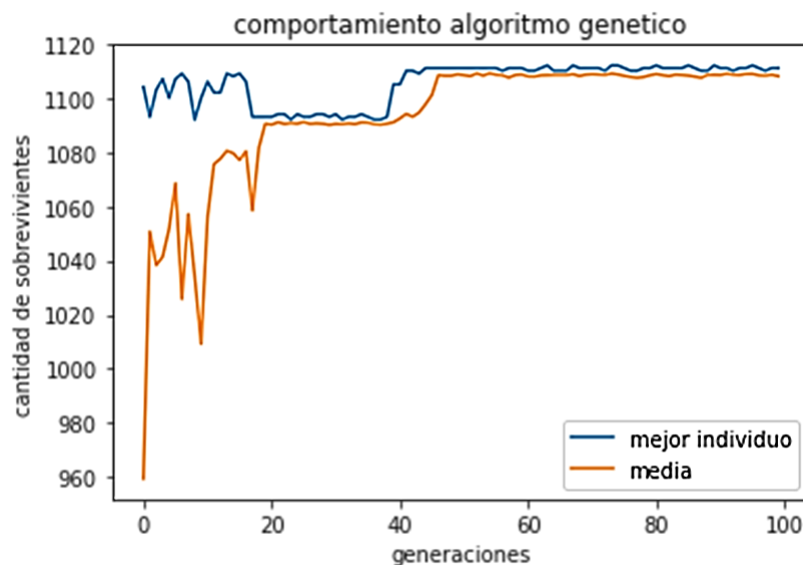


Figura 38. Comportamiento de los cromosomas en el escenario 1

El mejor individuo está dado por el cromosoma de la Figura 39, para el cual la función objetivo tiene como resultado un total de 1.111 personas sobrevivientes de las 1776 que recibieron tratamiento, lo que equivale al 62,5% de los pacientes.

$J \rightarrow$	1	2	3	4	5
$u \rightarrow$	3	4	1	2	3

$u \rightarrow$	1	2	3	4
$m \rightarrow$	1	4	5	3

Figura 39. Mejor individuo escenario 1

En la Figura 40, se puede observar que a el área 1 ubicada en la comuna Norte se le asignó el punto de valoración 3 que se encuentra localizado en el parque del agua cuyo tiempo de recorrido es de 18 minutos, al punto de valoración 3 se le asignó el hospital 5 que corresponde a la Clínica Bucaramanga y el tiempo de recorrido es de 11 minutos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

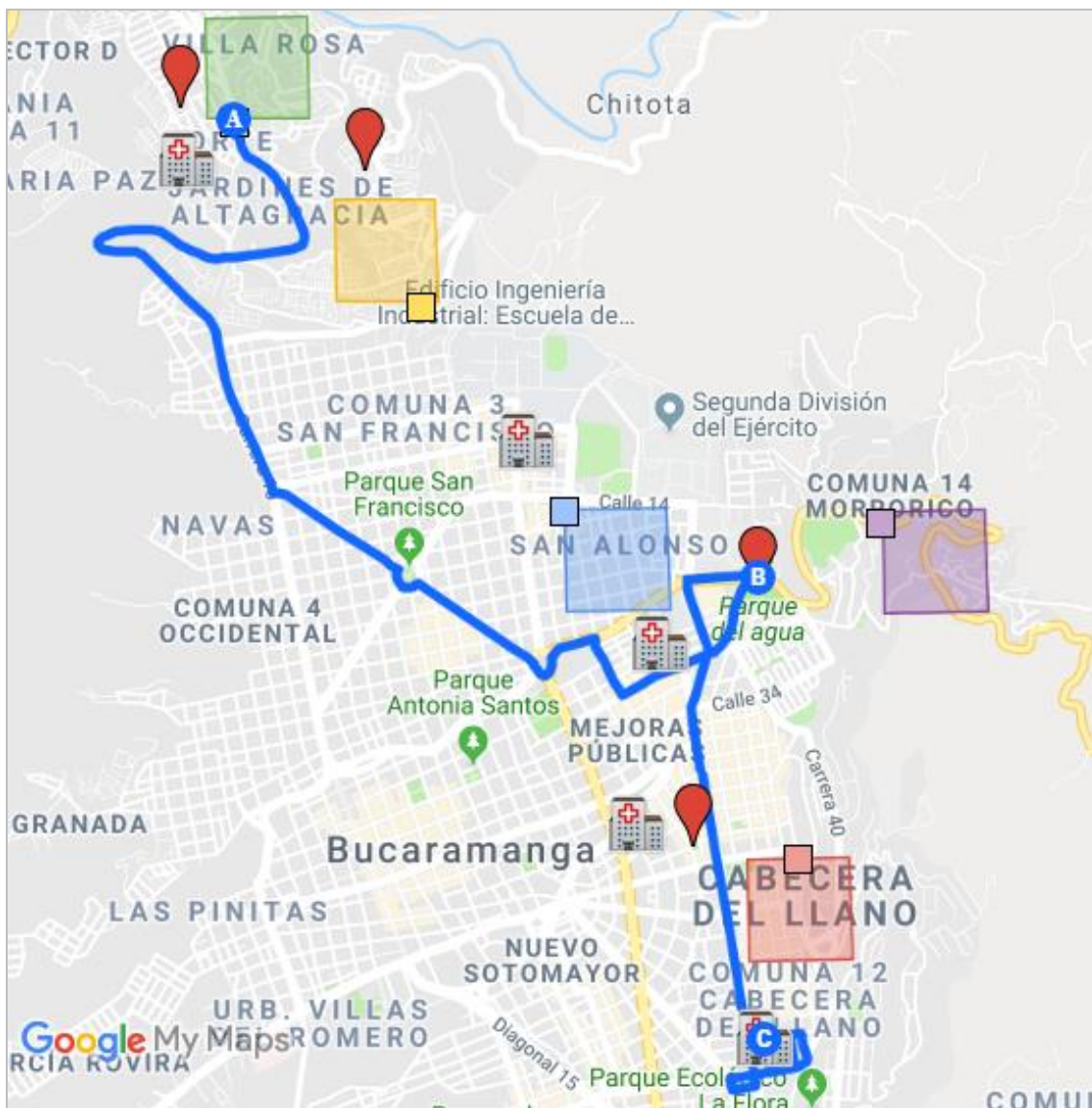


Figura 40. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 1 en un sismo de intensidad 6

En la *Figura 41*, se puede apreciar que el área 2 que se encuentra en la comuna Nororiental, se le asigna el punto de valoración 4 que está ubicado en el parque las palmas en donde el tiempo de recorrido es de 17 minutos, al punto de valoración 4 se le asigna el hospital 3 que corresponde a la Clínica Chicamocha cuyo tiempo de recorrido es de 2 minutos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

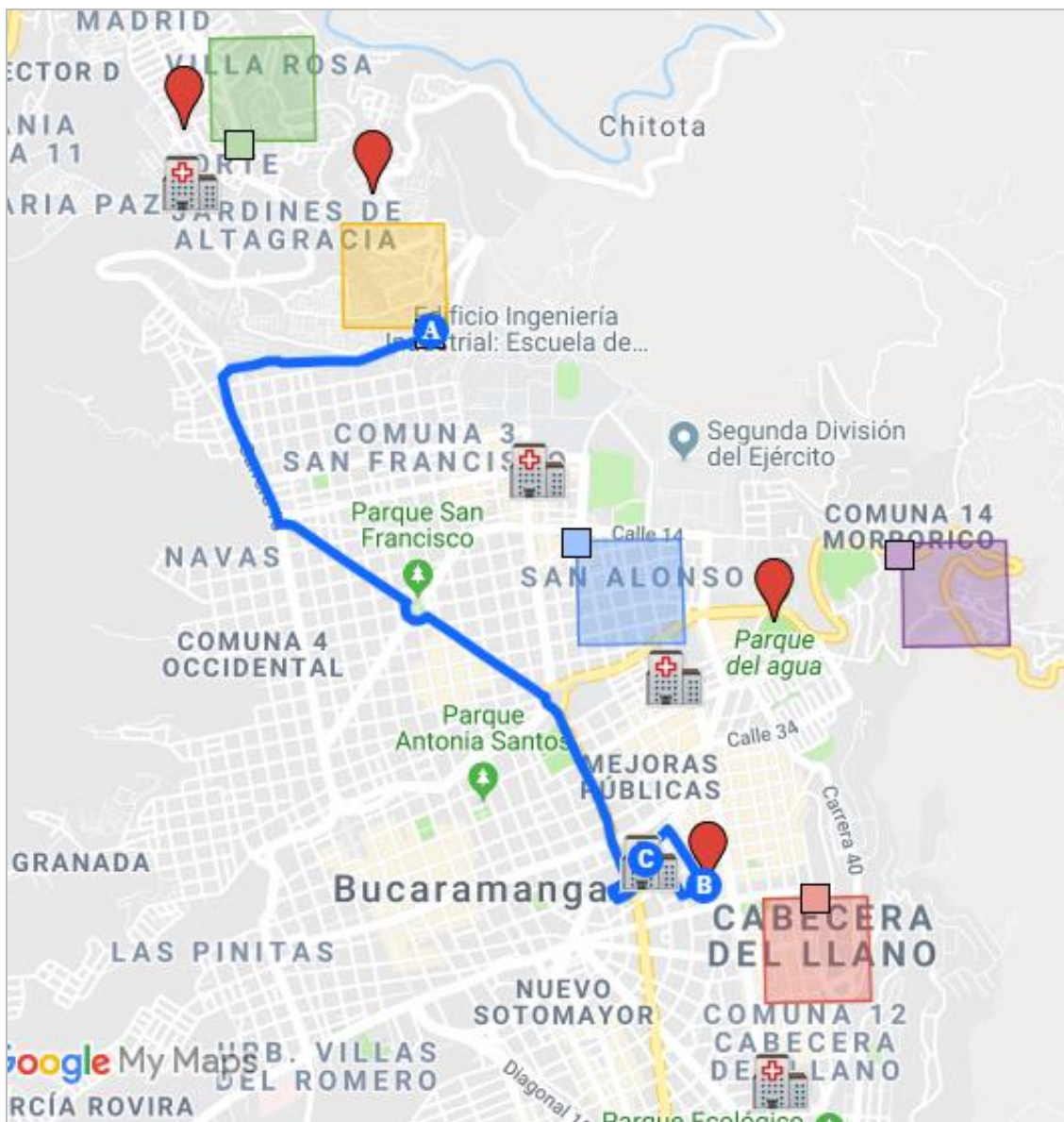


Figura 41. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 2 en un sismo de intensidad 6

La *Figura 42*, muestra que a el área 3 que se encuentra ubicada en la comuna Oriental, se le asigna el punto de valoración 1 que está localizado en la cancha sintética del barrio Kennedy, en donde el tiempo de recorrido es de 14 minutos, al punto de valoración 1 se le asigna el hospital 1 que corresponde al Hospital Local del Norte y el tiempo de recorrido es de 2 minutos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

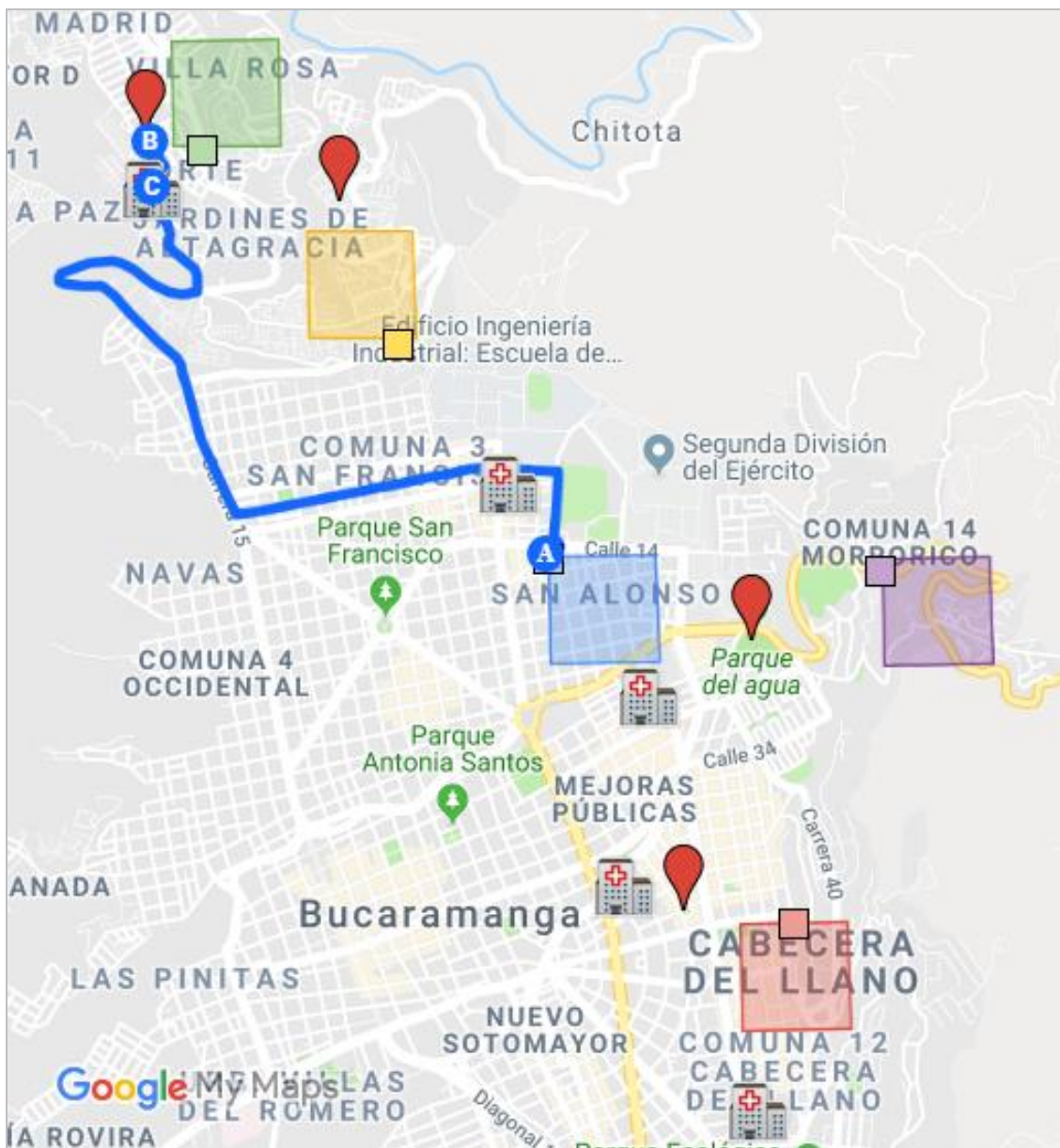


Figura 42. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 3 en un sismo de intensidad 6

En la Figura 43, se observa que el área 4 que se encuentra en la comuna Morrónico, se le asigna el punto de valoración 2 que se encuentra en la cancha sintética la esperanza 3 norte, cuyo tiempo de recorrido es de 23 minutos, al punto de valoración 2 se le asigna el hospital 4 que corresponde al Hospital Universitario y el tiempo de recorrido es de 17 minutos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

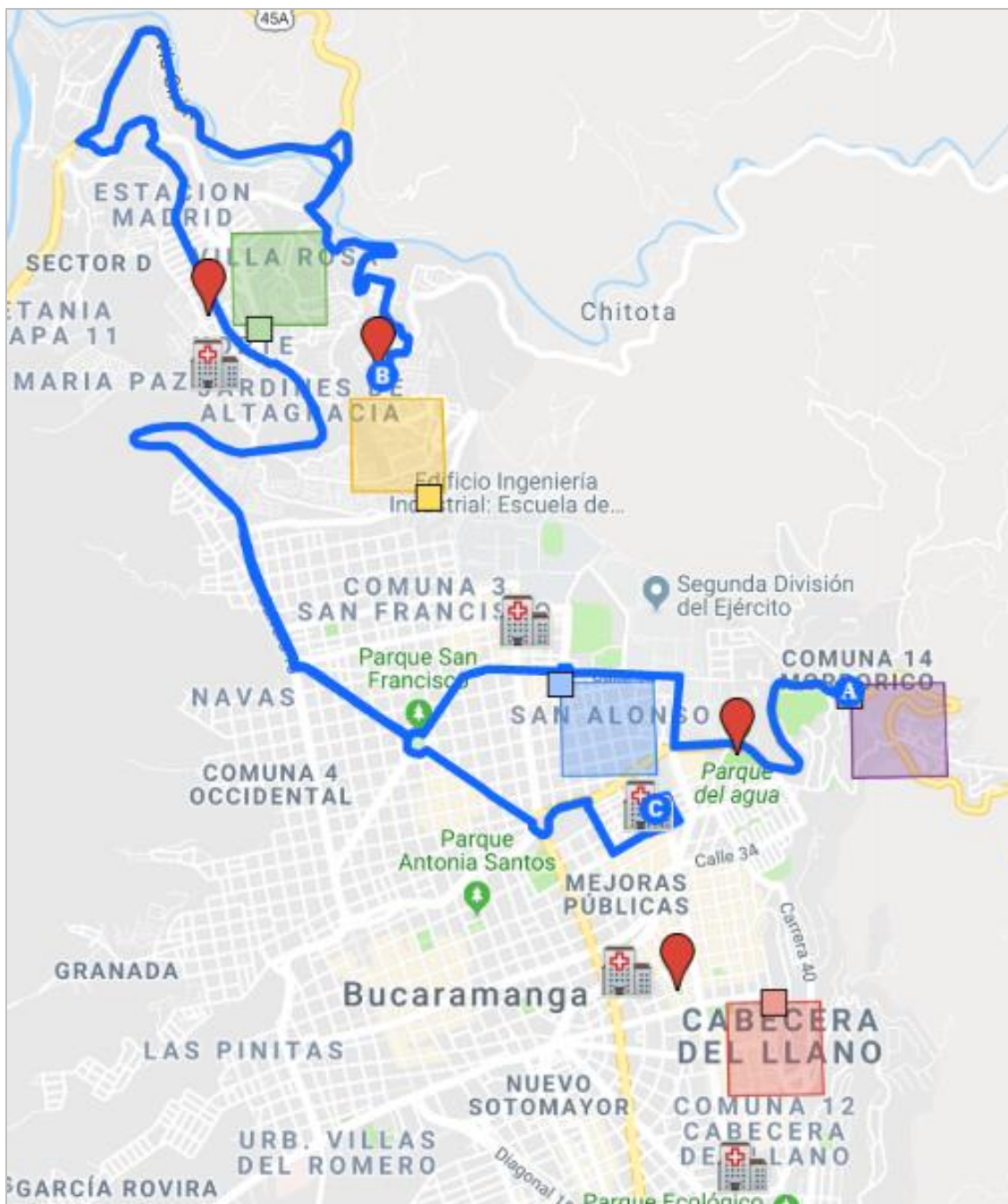


Figura 43. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 4 en un sismo de intensidad 6

En la *Figura 44*, se muestra que el área 5 que está ubicada en la comuna Cabecera se le asigna el punto de valoración 3 que se encuentra en el parque del agua, dónde el tiempo de recorrido es

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

de 9 minutos, al punto de valoración 3 se le asigna el hospital 5 que corresponde a la Clínica Bucaramanga y el tiempo de traslado es de 11 minutos.

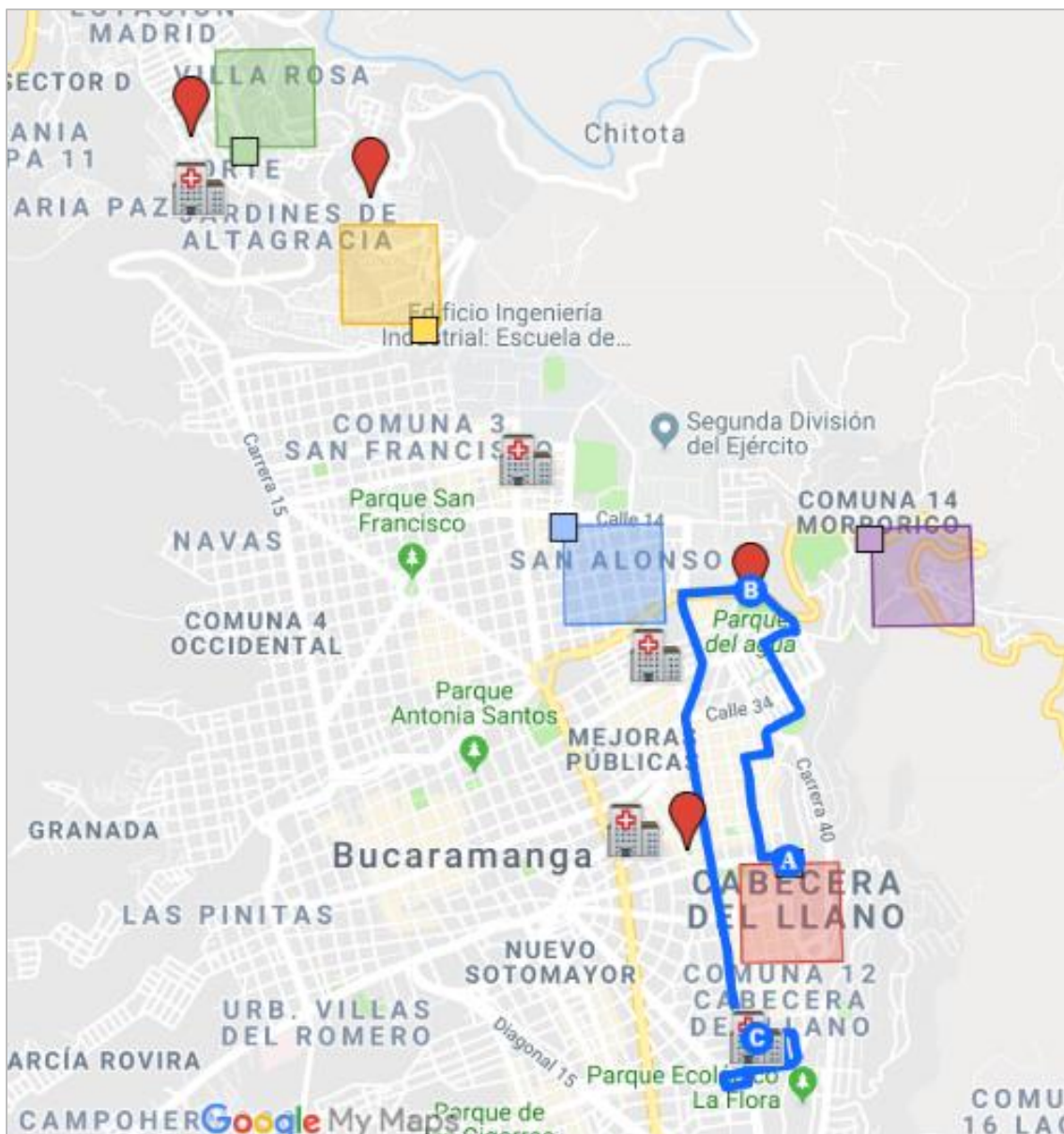


Figura 44. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 5 en un sismo de intensidad 6

En la *Figura 45* se ilustran los resultados obtenidos a partir de la asignación correspondiente al mejor individuo generado por el algoritmo genético para el escenario sísmico de intensidad 6; donde se aprecia que en total 1.776 personas recibieron tratamiento, 14 pacientes quedaron en las

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

áreas de desastres y 0 en los puntos de valoración al finalizar los 4 periodos de tiempo, y 76 personas no recibieron atención médica por su baja probabilidad de sobrevivir.

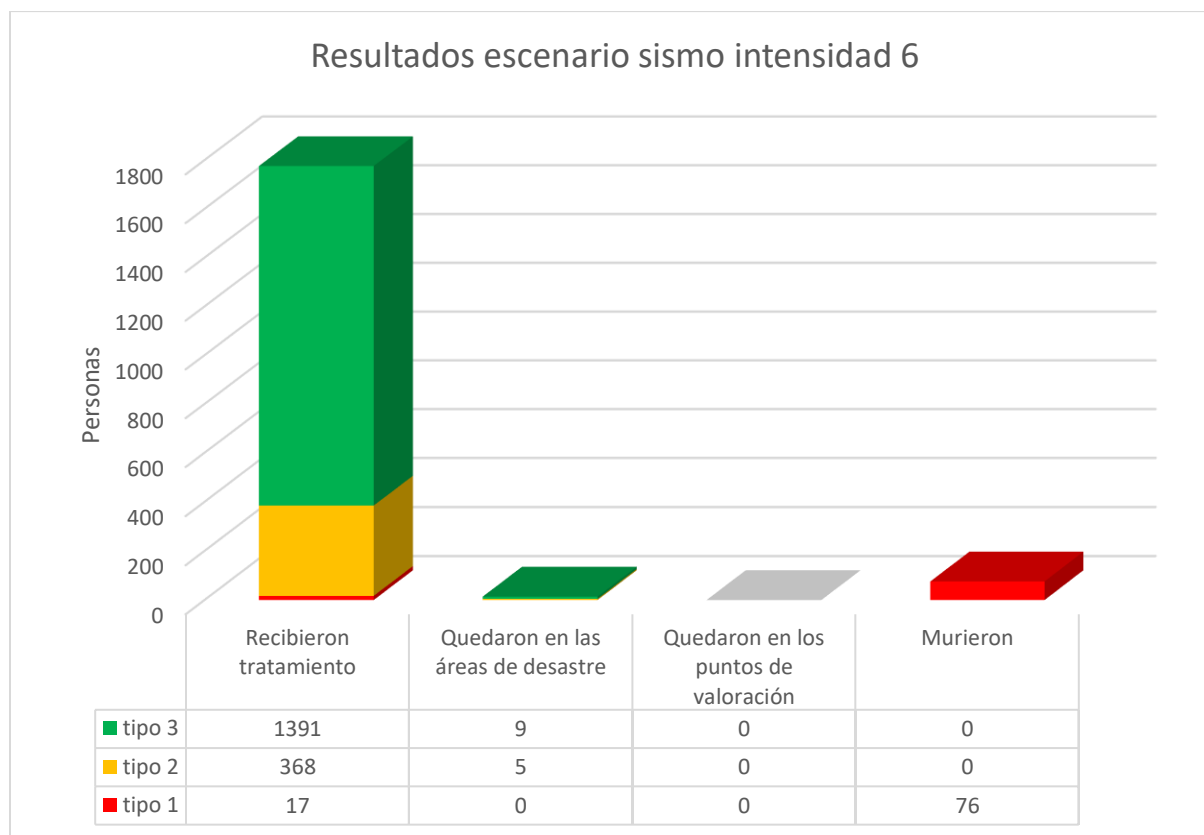


Figura 45. Resultados obtenidos a partir de la configuración del mejor individuo para el escenario de intensidad 6

9.1.2 Escenario 2: sismo con nivel de intensidad 8.

Para este escenario, se generaron un total de 6438 víctimas distribuidas en las 5 áreas de desastre correspondientes a las comunas Norte, Nororiental, oriental, Morrорico y cabecera; a su vez, los heridos se encuentran clasificados según el tipo de gravedad de sus heridas como se muestra en la *Figura 46*.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

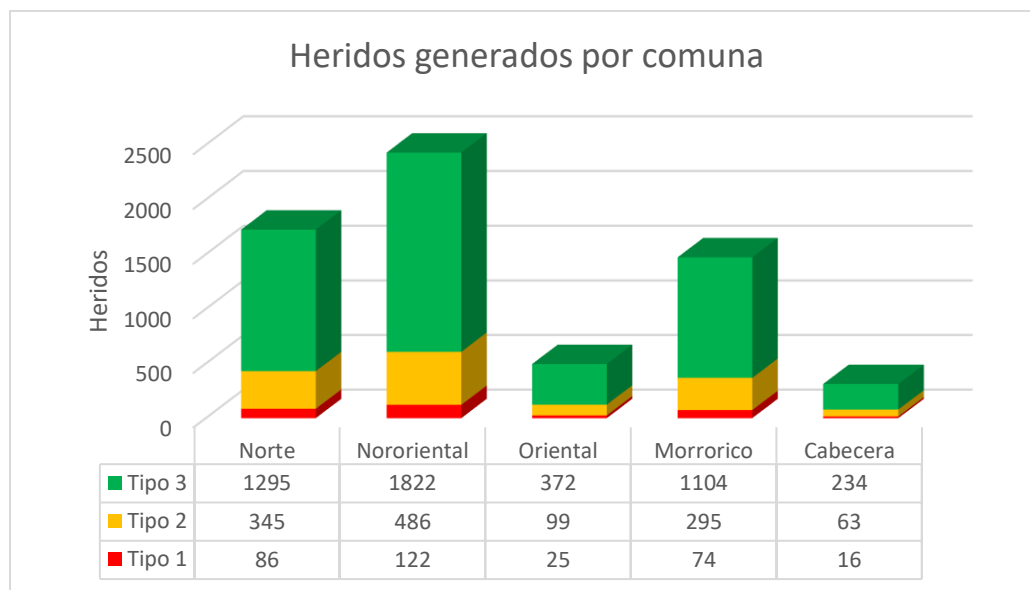


Figura 46. Heridos generados en un evento sísmico de intensidad 8 en la ciudad de Bucaramanga

Al finalizar la ejecución del programa, se obtiene la gráfica del comportamiento de los individuos generados por el algoritmo genético durante las 100 generaciones *Figura 47*, donde se aprecia la cantidad de personas que sobreviven según la configuración del mejor individuo y de la media de todos los individuos.

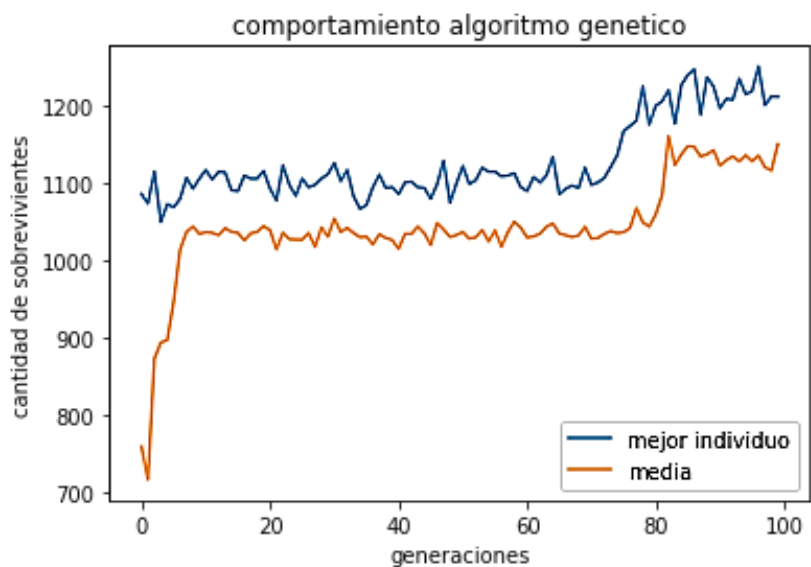


Figura 47. Comportamiento de los cromosomas en el escenario 2

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

El mejor individuo está dado por el cromosoma de la *Figura 48*, para el cual la función objetivo tiene como resultado un total de 1.211 personas sobrevivientes de las 1.817 que recibieron tratamiento, lo que equivale al 66,6% de los pacientes.

$J \rightarrow$	1	2	3	4	5
$u \rightarrow$	3	4	2	3	1

$u \rightarrow$	1	2	3	4
$m \rightarrow$	1	3	4	5

Figura 48. Mejor individuo escenario 2

En la *Figura 49*, se observa que al área 1 que está ubicada en la comuna Norte se le asigna el punto de valoración 3 que se encuentra en el parque del agua, cuyo tiempo de recorrido es de 18 minutos, al punto de valoración 3 se le asigna el hospital 4 que corresponde al Hospital Universitario y el tiempo de recorrido es de 4 minutos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

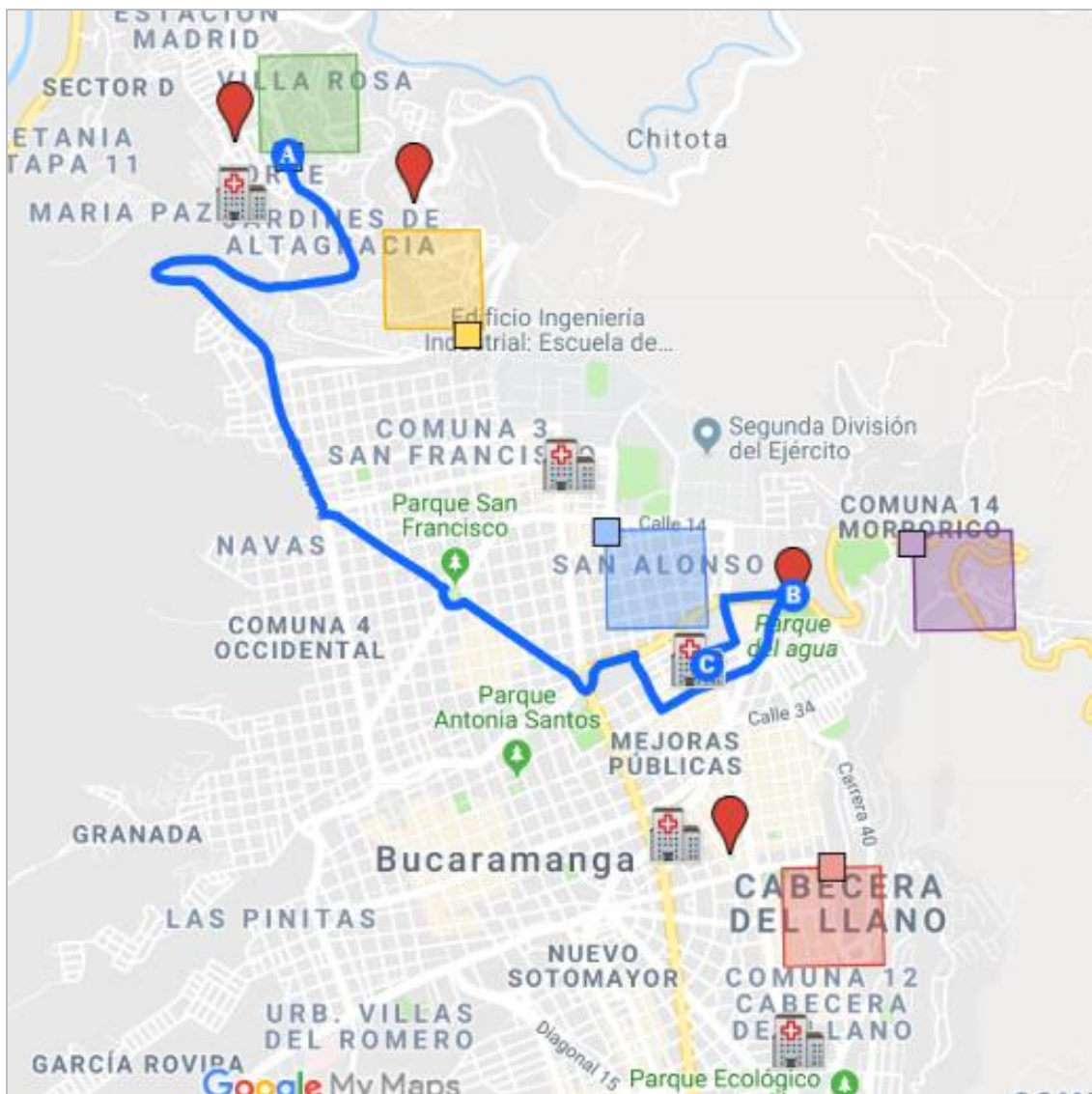


Figura 49. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 1 en un sismo de intensidad 8

En la *Figura 50*, se muestra que al área 2 que está localizada en la comuna Nororiental se le asigna el punto de valoración 4 que se encuentra en el parque las palmas y el tiempo de recorrido es de 17 minutos, al punto de valoración 4 se le asigna el hospital 5 que corresponde a la Clínica Bucaramanga, donde el tiempo de recorrido equivale a 6 minutos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

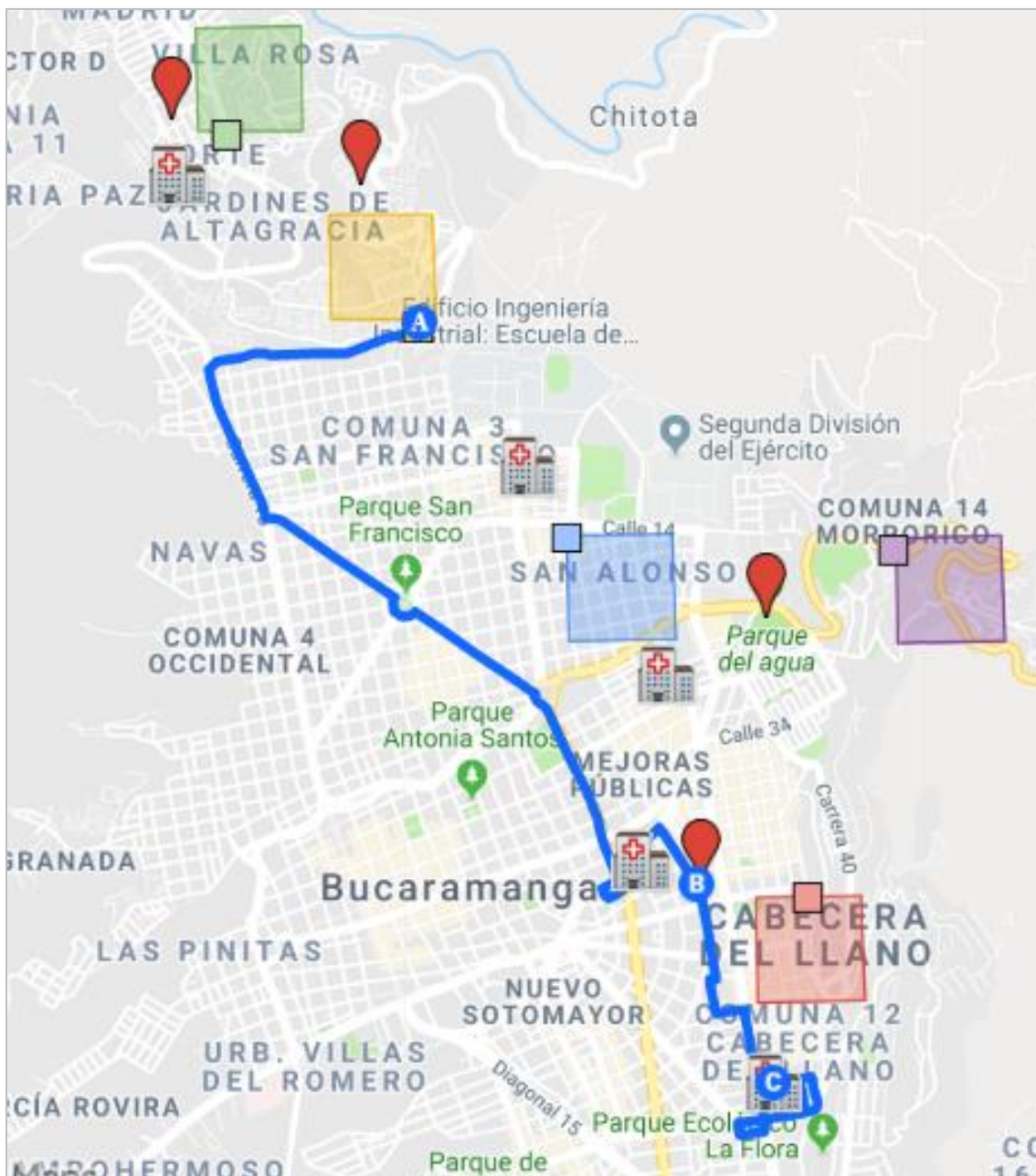


Figura 50. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 2 en un sismo de intensidad 8

En la *Figura 51*, se muestra que el área 3 que está ubicada en la comuna Oriental se le asigna el punto de valoración 2 que se encuentra en la cancha sintética la esperanza 3 norte, donde el tiempo de recorrido es de 15 minutos, al punto de valoración 2 se le asigna el hospital 3 que corresponde a la Clínica Chicamocha y su tiempo de recorrido es de 20 minutos.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

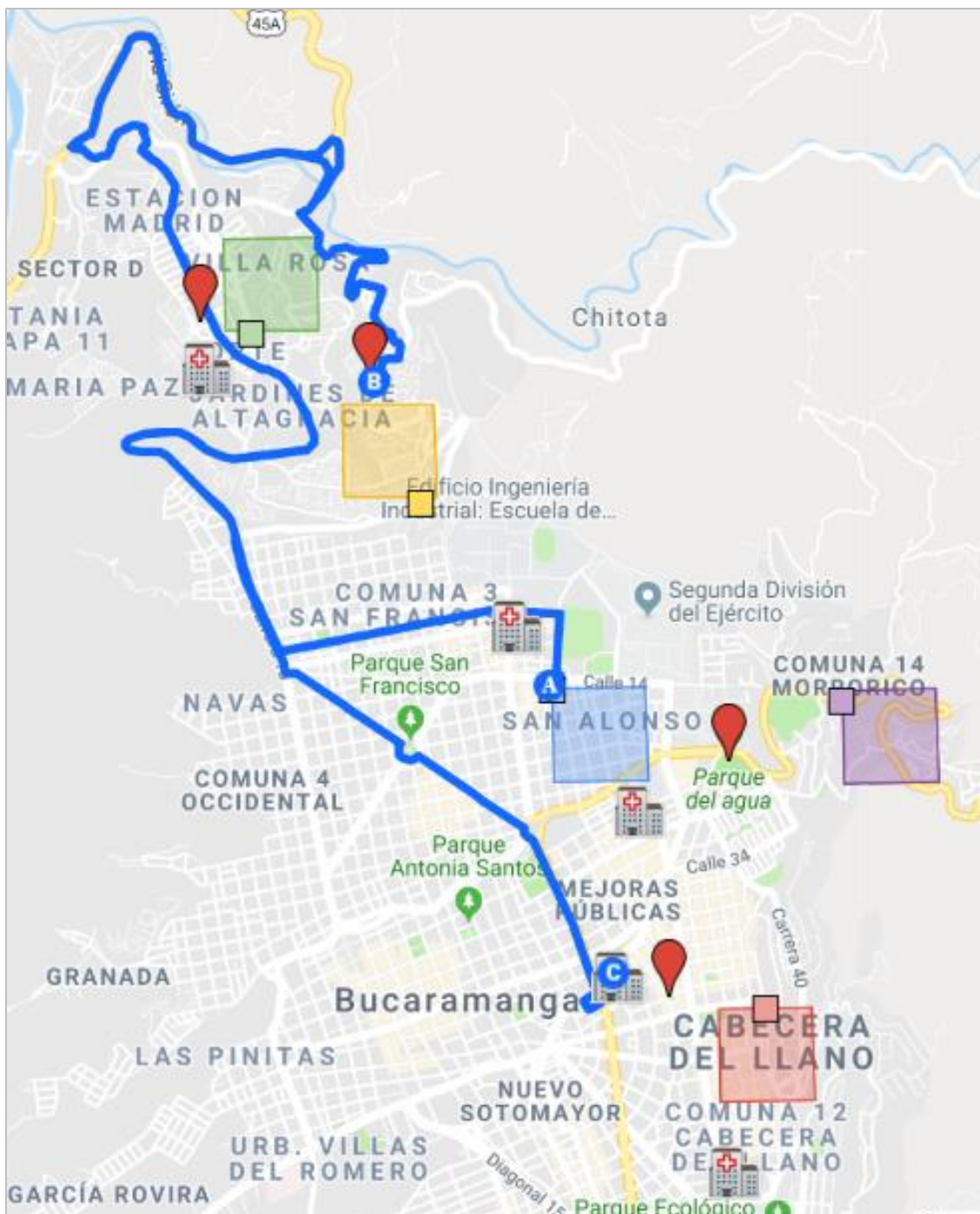


Figura 51. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 3 en un sismo de intensidad 8.

La Figura 52 muestra que el área 4 que está ubicada en la comuna Morrорico se le asigna el punto de valoración 3 que está ubicado en el parque del agua, cuyo tiempo de recorrido es de 6

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

minutos, al punto de valoración 3 se le asigna el hospital 4 que corresponde al Hospital Universitario donde el tiempo de recorrido es de 4 minutos.

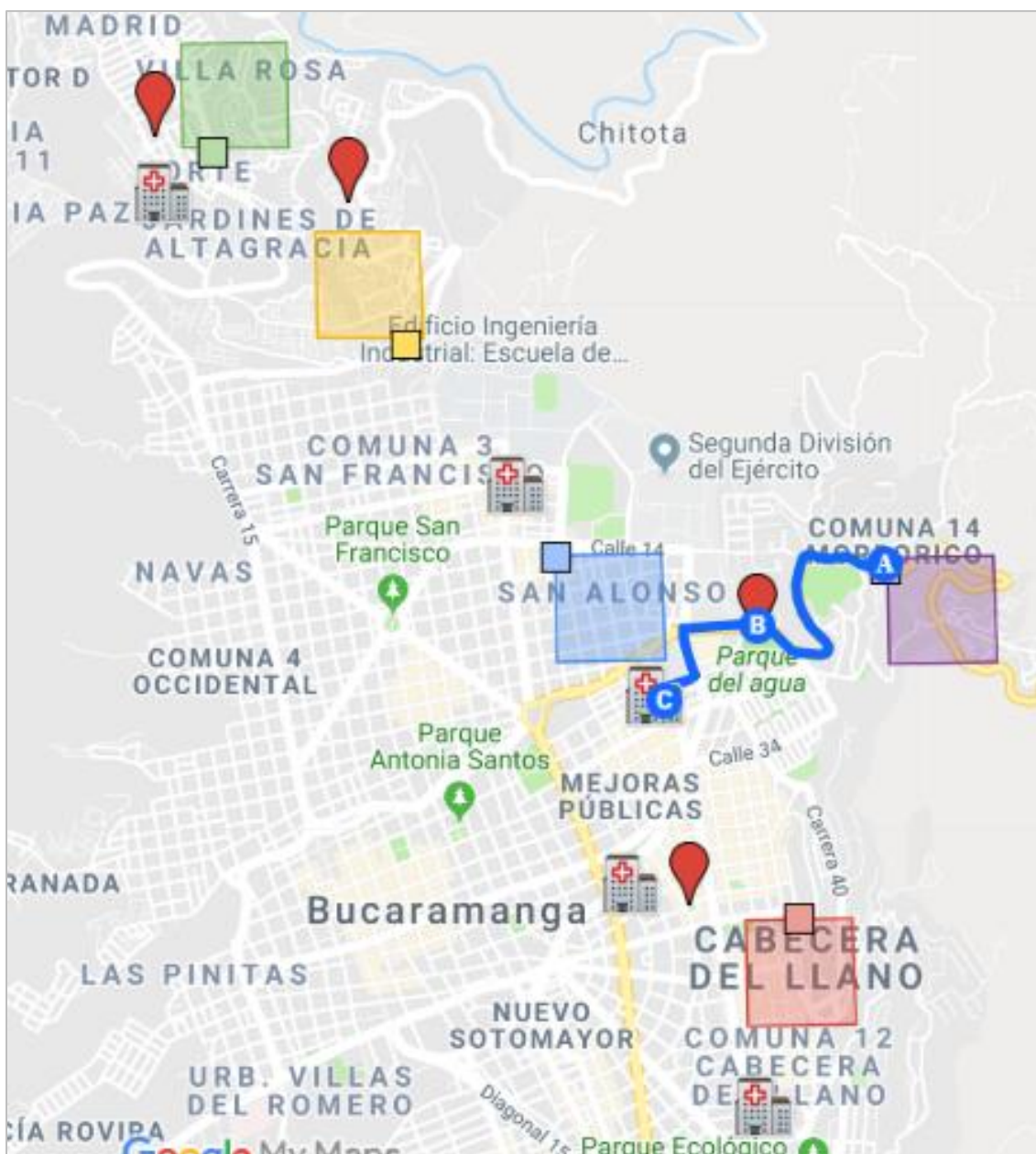


Figura 52. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 4 en un sismo de intensidad 8

En la *Figura 53*, se observa que al área 5 que está ubicada en la comuna Cabecera se le asigna el punto de valoración 1 que está localizado en la cancha sintética del barrio Kennedy, donde el

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

tiempo de recorrido es de 21 minutos, al punto de valoración 1 se le asigna el hospital 1 que corresponde al Hospital Local del Norte y su tiempo de traslado es de 2 minutos.

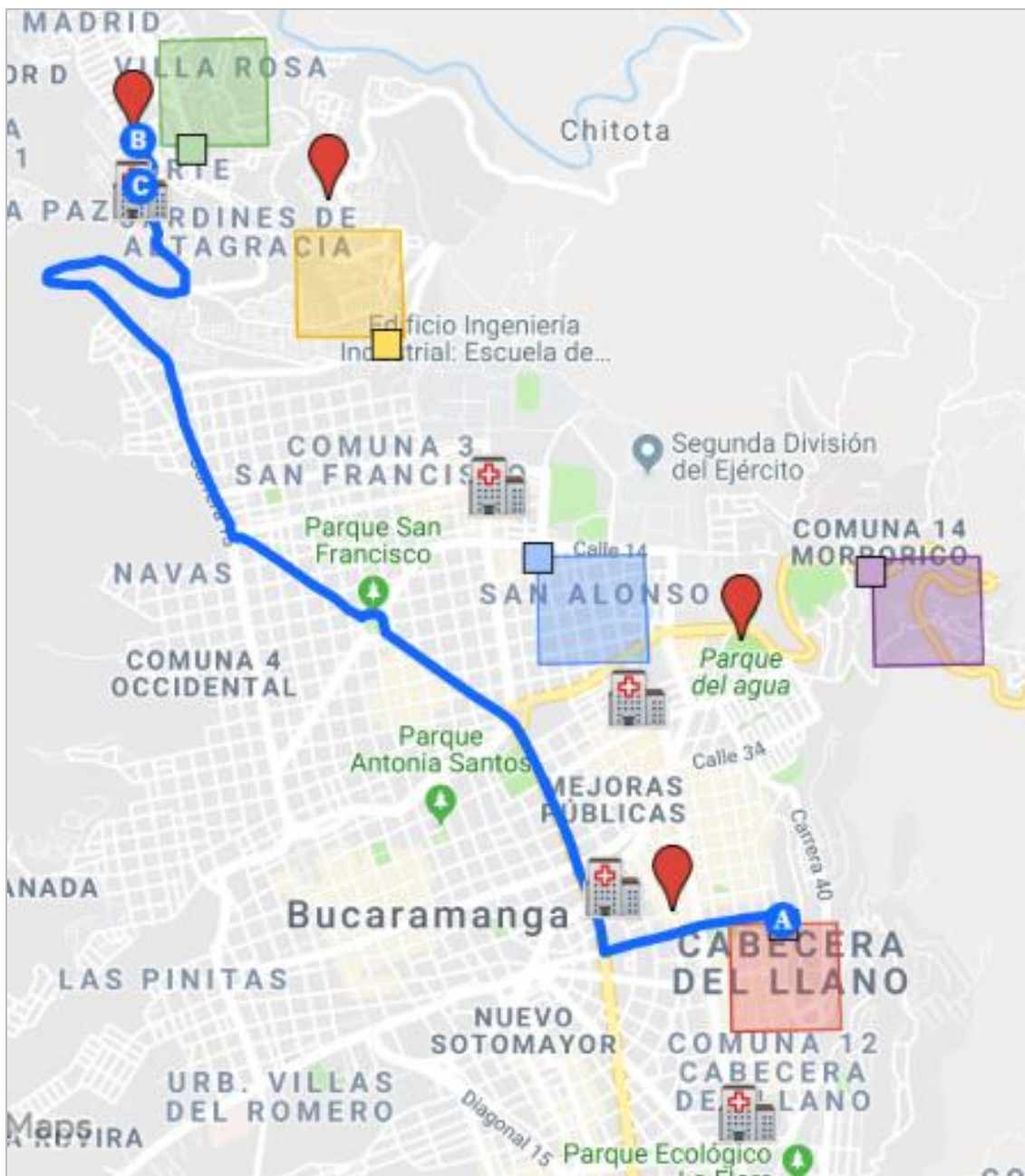


Figura 53. Ruta establecida para el traslado de los heridos del área de desastre 5 en un sismo de intensidad 8

En la *Figura 54* se muestran los resultados obtenidos a partir de la asignación correspondiente al mejor individuo generado por el algoritmo genético para el escenario sísmico de intensidad 8;

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

donde se aprecia que en total 1817 personas recibieron tratamiento, 3864 pacientes quedaron en las áreas de desastres y 437 en los puntos de valoración al finalizar los 4 periodos de tiempo, y 320 personas no recibieron atención médica por su baja probabilidad de sobrevivir.

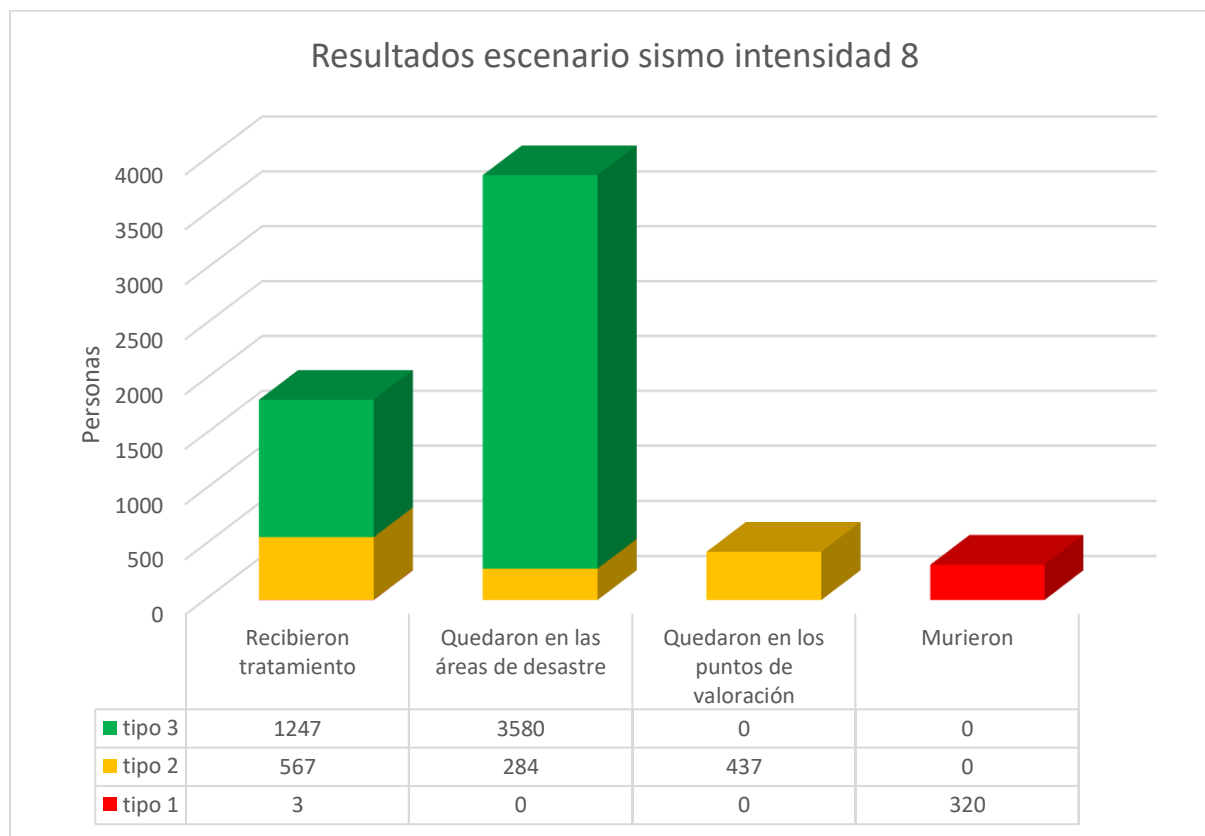


Figura 54. Resultados obtenidos a partir de la configuración del mejor individuo para el escenario de intensidad 8

10. Conclusiones

En la revisión de literatura se encontró que los problemas de asignación son muy recurrentes en la logística humanitaria, ya que en situaciones de emergencia la demanda es un factor que se genera de manera súbita y en cantidades que no se pueden prever; de ahí la necesidad de plantear modelos logísticos para la toma de decisiones que ayuden a mitigar los impactos negativos que se puedan llegar a generar este tipo de eventos inesperados.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

El modelo matemático cumplió a cabalidad con su objetivo, ya que la función fitness calcula la cantidad de personas sobrevivientes al evento sísmico con respecto a las que obtuvieron tratamiento médico, teniendo en cuenta las restricciones planteadas en el modelo.

La red propuesta para la asignación de víctimas es adecuada, ya que los hospitales seleccionados son los que se encuentran mejor equipados para responder a este tipo de situaciones en Bucaramanga, teniendo en cuenta la ubicación de las áreas de desastre.

El algoritmo genético propuesto soluciona el problema de asignación de heridos proporcionando el cromosoma con la mejor configuración de manera que la cantidad de personas sobrevivientes sea la máxima posible; sin embargo, la asignación no se realiza a los puntos más cercanos como se esperaba debido a que también influyen las capacidades estipuladas.

La asignación que realiza el algoritmo genético se lleva a cabo de manera aleatoria teniendo en cuenta que las probabilidades de supervivencia disminuyen a través del tiempo; es decir, que si se decide asignar el centro médico más cercano, la probabilidad de supervivencia va a ser mayor que si se asigna a uno lejano, maximizando así las P_s y por ende la cantidad de personas sobrevivientes; sin embargo, no es el único factor a la hora de determinar la asignación, ya que esta también depende de las capacidades de atención que tenga cada centro asistencial; por lo tanto, como se evidencia en los resultados, no necesariamente son asignados los puntos de valoración y hospitales más cercanos.

A partir de los resultados de los escenarios propuestos se puede inferir que, las capacidades de atención médica de los puntos de valoración y de los hospitales son aceptables para socorrer una catástrofe de nivel de intensidad 6 en la escala de Mercalli, sin embargo, no es suficiente para asistir una mayor como en el caso del escenario 2, ya que la cantidad de víctimas generadas supera

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

con creces la capacidad de los centros asistenciales y esto se ve reflejado en la cantidad de personas que no reciben tratamiento médico.

Teniendo en cuenta que los resultados de la función objetivo en el algoritmo genético después de cierta cantidad de iteraciones convergen hacia un valor factible, se infiere que se puede mejorar el algoritmo utilizando un operador de búsqueda local que explore las soluciones encontradas, debido a que el algoritmo genético puede estar atascado en un óptimo local.

11. Recomendaciones

El código del algoritmo genético de esta investigación queda abierto al público para que se use en el desarrollo de otros escenarios y para su libre modificación, con el fin deducir costos computacionales en la generación de soluciones.

Realizar un diseño de experimento que permita establecer los parámetros del algoritmo que tienen incidencia en la solución y los niveles que deberían tomar estos.

Promover la realización de trabajos de grado en el área de investigación de operaciones utilizando metaheurísticas como el algoritmo genético para la solución de diversos problemas y toma de decisiones.

Adaptar esta investigación a otras ciudades del país, donde el escenario de prueba sea la mayor amenaza natural de la región en la que se encuentra ubicada, de manera que se puedan evaluar las condiciones en las que se encuentra la ciudad para responder en esos casos y se tomen medidas.

Adaptar esta investigación junto a un modelo de localización de centros médicos asistenciales, para así generar nuevos y mejores resultados.

Referencias Bibliográficas

- [1] L. Chen y E. Miller-Hooks, «Optimal team deployment in urban search and rescue,» *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 46, n° 8, pp. 984-999, 2012.
- [2] F. Wex, G. Schryen, S. Feuerriegel y D. Neumann, «Emergency response in natural disaster managment: Allocation and scheduling of rescue units,» *European Journal of Operational Research*, vol. 235, n° 3, pp. 697-708, 2014.
- [3] L. Li, M. Jin y L. Zhang, «Sheltering network planning and management with a case in the gulf coast region,» *International Journal of Production Economics* , vol. 131, n° 2, pp. 431-440, 2011.
- [4] J. Zhu, J. Huang, D. Liu y J. Han, «Resources Allocation Problem for Local Reserve Depots in Disaster Management Based on ScenarioAnalysis,» *ISORA*, pp. 395-407, 2008.
- [5] CMGRD de Bucaramanga, «Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre,» Diciembre 2013. [En línea]. Available: https://www.bucaramanga.gov.co/la-ruta/download/pmgrd/PMGRD-BGA_V1.pdf. [Último acceso: 25 Octubre 2018].
- [6] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, «UNGRD,» 2016. [En línea]. Available: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20713/Articulación_Instrumentos_Planificación2018.pdf?sequence=14&isAllowed=y. [Último acceso: 2018].

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- [7] Banco Mundial, «Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia : un aporte para la construcción de,» Marzo 2012. [En línea]. Available:
<http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>.
[Último acceso: 14 Enero 2019].
- [8] Federacion Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja,
«www.ifrc.org,» [En línea]. Available:
<https://www.ifrc.org/PageFiles/87146/HAITI%20ESPAÑOL%20-%20SUMARIO.pdf>.
[Último acceso: 25 Enero 2019].
- [9] BBC Mundo, «Terremoto en Chile: mas fuerte que el de Haiti, pero menos mortifero,»
1 Marzo 2010.
- [10] ONEMI, «Ministerio del interior y de seguridad publica,» [En línea]. Available:
<http://www.onemi.cl/presentacion/>. [Último acceso: 25 Enero 2019].
- [11] O. Viera, S. Moscatelli y L. Tansini, «Logistica Humanitaria y su aplicacion en Uruguay,» *Gerencia Tecnologica Informatica*, vol. 11, nº 30, pp. 47-56, 2012.
- [12] O. Muiño, «Universidad de Santiago de Compostela,» 2016. [En línea]. Available:
http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto_1368.pdf. [Último acceso: 3 Agosto 2019].
- [13] k. Ganesh, M. Punniymoorthy y R. Mohapatra, Problemas de asignacion en cadenas de suministros, 2015.
- [14] M. S. Garcia, «Optimizacion Combinatoria,» de *Las matematicas del siglo XX*, 2000, pp. 115-120.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- [15] C. BLUM y A. ROLI, «Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison,» *ACM Computing Surveys*, vol. 35, nº 3, p. 269, 2008.
- [16] A. Cortez, «TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD COMPUTACIONAL Y TEORÍA DE LA COMPUTABILIDAD,» *Rev. investig. sist. inform.*, vol. 1, nº 1, pp. 102-105, 2004.
- [17] C. Maldonado, «Un problema fundamental en la investigación: Los problemas P vs NP,» *Logos,Ciencia y Tecnología*, vol. 4, nº 2, pp. 10-20, 13 Marzo 2013.
- [18] J. Chicano, «Metaheurísticas e ingeniería del software,» Universidad de malaga, 2007.
- [19] A. Barrera Navarro y A. Hernandez Gomez, «Un algoritmo evolutivo para el problema de distribucion de recursos post-desastres sismicos en la ciudad de Bucaramanga,» p. 40, 2016.
- [20] R. Marti, Algoritmos Heuristicos en Optimización Combinatoria, Valencia : Universidad de Valencia .
- [21] F. Glover, «FUTURE PATHS FOR INTEGER PROGRAMMING AND LINKS TO,» *Pergamon Journals Lid*, vol. 13, nº 5, pp. 533-549, 2011.
- [22] B. Melián, J. Moreno y M. Marcos, «Introducción a la Computación Evolutiva,» *Números* , vol. 71, pp. 21-27, 2009.
- [23] J. Aguilar, «La Programación Evolutiva en la Identificación de Sistemas Dinamicos a Eventos Discretos,» *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, vol. 5, nº 5, pp. 301-310, 2007.
- [24] S. Botello, H. Esqueda y A. Hernandez, «Estrategias evolutivas aplicadas en la optimización de problemas con interacción fluido-sólido,» *Revista Internacional de*

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* , vol. 23, nº 4, pp. 415-428, 2007.
- [25] E. Yolis, P. Britos, J. Sicre, A. Servetto, G. Perichisy y R. Garcia, «algoritmos genéticos aplicados a la categorización automática de documentos,» 2003. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10915/22639>. [Último acceso: 25 Julio 2019].
- [26] J. Arranz y A. Parra, «Universidad Carlos III de Madrid,» [En línea]. Available: <https://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/06-07/05.pdf>. [Último acceso: 25 Julio 2019].
- [27] A. Rubio Barroso y J. Gutierrez Puebla, «Los sistemas de informacion geograficos: origen y perspectivas,» *General de informacio y documentacion*, vol. 7, nº 1, pp. 93-106, 1997.
- [28] A. Ferrando y J. Francisco, «En torno a los desastres naturales: Tipología, conceptos y reflexiones,» *Revista INVI*, vol. 18, nº 47, pp. 15-31, 2003.
- [29] M. Garcia Noguera, «Los desastres naturales,» *Salus*, vol. 14, nº 2, pp. 5-6, 2010.
- [30] Centro Nacional de Prevencion de Desastres, «¿Qué es un sismo? y ¿Por qué seceden?,» 17 12 2017. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-es-un-sismo-y-por-que-suceden>. [Último acceso: 13 10 2018].
- [31] MINTIC, «¿Qué es un algoritmo?,» MINTIC, [En línea]. Available: http://aprende.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/curriculos_ex/n1g10_fproy/nivel1/programacion/unidad1/leccion1.html. [Último acceso: 13 10 2018].

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- [32] M. Rosental y P. Iudin, *Diccionario Filosófico Marxista*, Montevideo: Ediciones Pueblos Unidos, 1946.
- [33] OPS y OMS, *Manual para la implementación de un sistema de triaje para los cuartos de urgencias*, Washington, 2011.
- [34] W. Fawcett y C. Oliveira Sousa, «Casualty Treatment After Earthquake Disasters: Development of a Regional Simulation Model,» *Disasters*, vol. 24, nº 3, pp. 271-287, 2002.
- [35] P. Jomon, G. Santosh, Y. Pengfei y L. Li, «Transient Modeling in Simulation of Hospital Operations for Emergency Response,» *Prehospital and Disaster Medicine*, vol. 21, nº 4, pp. 223-236, 2006.
- [36] F. Barzinpour, S. Mohsen, M. Ahmad y E. Teimoury, «Metaheuristic algorithm for solving biojective possibility planning model of location-allocation in disaster relief logistics,» *Journal of applied mathematics*, vol. 2014, nº 3, 2014.
- [37] «A logistics model for the transport of disaster victims with various injuries and survival probabilities,» *Annals of Operations Research*, vol. 230, nº 1, pp. 17-33, 2015.
- [38] X. Gao, Y. Zhou, M. Amir, F. A. Rosyidah y G. Lee, «A HYBRID GENETIC ALGORITHM FOR MULTI-EMERGENCY MEDICAL SERVICE CENTER LOCATION-ALLOCATION PROBLEM IN DISASTER RESPONSE,» *International Journal of Industrial Engineering*, vol. 24, nº 6, pp. 663-679, 2017.
- [39] S. Shavarani y B. Vizvari, «Post-disaster transportation of seriously injured people to hospitals,» *Journal of Humanitarian logistics and Supply Chain Management*, vol. 8, nº 2, pp. 227-251, 2018.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- [40] S. Shiripoura y N. Mahdavi-Amirib, «Optimal distribution of the injured in a multi-type transportation network with damage-dependent travel times: Two metaheuristic approaches,» *Socio-Economic Planning Sciences*, 2018.
- [41] X. Vinh Doan y D. Shaw, «Resource allocation when planning for simultaneous disasters,» *European Journal of Operational Research*, nº 274, pp. 687-709, 2018.
- [42] E. nieto. [En línea]. Available:
<http://repositorio.usdg.edu.pe/bitstream/USDG/34/1/Tipos-de-Investigacion.pdf>.
 [Último acceso: 14 Noviembre 2018].
- [43] G. J. Lieberman y F. S. Hillier, *Introducción a la investigación de operaciones*, 2010.
- [44] J. Sukho, J. Sukjae, K. Jangyeop y K. Kyungsup, «A logistics model for the transport of disaster victims with Various injuries and Survival Probabilities,» *Ann Oper Res* , vol. 10, 2014.
- [45] M. Gestal, D. River, J. R. Rabuñal y J. Dorado, *Introduccion a los algoritmos geneticos y la programacion genetica*, Coruña, 2010.
- [46] M. Gestal, «Repositorio da UDC,» Marzo 2019. [En línea]. Available:
https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/7173/Gestal_Marcos_TD_2009.pdf?sequence=3&isAllowed=y. [Último acceso: Mayo 2019].
- [47] E. Maldonado y G. Chio, «Identificación de las zonas sismicamente mas vulnerables en la ciudad de Bucaramanga,» *UIS Ingenierías* , vol. 4, nº 2, pp. 99-116, 2005.
- [48] M. Barreto y P. Niño, «un algoritmo memetico para el problema de localizacion-ruteo con ventanas de tiempo para la atencion de desastres sismicos en la ciudad de bucamanga,» *Universidad Industrial de Santander* , 2016.

MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE VÍCTIMAS

- [49] A. Contreras y A. Martinez, «Un problema de localizacion multiobjetivo en la fase de preparacion para desastres por sismos en la ciudad de Bucaramanga,» Universidad Industrial de Santander , 2016.
- [50] K. Aguilar y Y. Perez, «Un algoritmo memético para la minimización del makespan en el problema del Job Shop Scheduling,» Universidad Industrial de Santander , 2016.
- [51] E. Martinez, «vanguardia,» 21 Agosto 2012. [En línea]. Available: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/como-esta-distribuida-en-cifras-bucaramanga-idv1170668>. [Último acceso: 26 Julio 2019].
- [52] DANE, «DANE informacion para todos,» [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>. [Último acceso: 26 Julio 2019].