

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
VALPARAÍSO - CHILE**



**“TÉCNICA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA
PLANIFICACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE CIVILES EN
ALBERGUES ANTE DIFERENTES TIPOS DE
CATÁSTROFES EN LA COMUNA DE SAN ANTONIO”**

EDUARDO ANDRÉS LEÓN VERA

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA**

**Profesor Guía: Dra. María Cristina Riff Rojas
Profesor Correferente: Dra. Elizabeth Montero Ureta**

Agosto - 2022

DEDICATORIA

Dedico esta memoria a mi familia y a todos aquellos profesores que me han apoyado e inculcado los valores a lo largo de mi vida, que permiten que hoy logre estar en estas instancias de mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, por ser pacientes y estar siempre a mi lado independientemente de la situación, apoyándome en todo momento. En especial a mi madre, que con mucho esfuerzo y sacrificio me ha forjado como la persona que soy hoy y me ha brindado la oportunidad de realizar mis estudios universitarios.

A todos los profesores que han participado en mi formación desde que era un infante, miles de gracias por inculcarle los valores y conocimientos que me han permitido llegar hasta este momento.

A la profesora María Cristina Riff, que me ha guiado a lo largo de esta aventura, aconsejándome y enseñándome los pilares fundamentales necesarios para el desarrollo de esta memoria.

A mis amigos y compañeros, quienes fueron un pilar importante durante mi formación profesional, no puedo dejar de agradecerles la compañía y apoyo en el día a día y en esas noches de estudio infinitas.

A Matías Pavez Vasquez, gran amigo por más de 15 años, que ayudó a contactarme con la Escuela de Ingenieros Militares de San Antonio, permitiéndome realizar el planteamiento de la memoria.

Agradezco al Capitán Fernando Cárdenas Artigas, al Sargento Segundo José Vera Mura, Sr. Marcos Torrejón y al Sr. Juan Carlos Ortiz por poner a disposición su conocimiento y guiarme a lo largo del desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

Resumen— El problema de distribución de civiles a albergues, nace de la necesidad de proteger y velar por el bienestar de los ciudadanos que son afectados por una catástrofe, y que por motivo de esto no tienen un lugar en donde alojarse. Para solucionar este problema los civiles deben ser rápidamente asignados en albergues adecuados para ellos de acuerdo con distintos parámetros, como por ejemplo, distancia entre la emergencia y el albergue, el rango etario, padecimiento de enfermedades, discapacidades, etc.

En esta memoria se presenta un análisis del contexto actual en el que se desenvuelve el problema, para luego proponer un algoritmo basado en técnicas de inteligencia artificial que permitirán su resolución, con el fin de proporcionar un sistema preventivo ante este tipo de situaciones. En su fase experimental, el algoritmo ha demostrado distribuir rápidamente a los civiles en albergues adecuados para estos, permitiendo por consecuencia utilizar los recursos disponibles de manera óptima.

Palabras Clave— Albergues, Algoritmo, Distribución, Emergencias, Familias.

ABSTRACT

Abstract— The problem of distribution of civilians to shelters arises from the need to protect and ensure the welfare of citizens who are affected by a catastrophe and therefore do not have a place to stay. To solve this problem, civilians must be quickly assigned to shelters suitable for them according to different parameters, such as distance between the emergency and the shelter, age range, illnesses, disabilities, etc.

This report presents an analysis of the current context in which the problem develops, and then proposes an algorithm based on artificial intelligence techniques that will allow its resolution, in order to provide a preventive system for this type of situation. In its experimental phase, the algorithm has shown to quickly distribute civilians in shelters suitable for them, thus allowing an optimal use of available resources.

Keywords— Algorithm, Distribution, Emergencies, Families, Shelters.

GLOSARIO

CBSA: Cuerpo de Bomberos de San Antonio.

COE: Comité de Operaciones de Emergencia.

DAEM: Departamento de Administración de Educación Municipal.

ESCING: Escuela de Ingenieros Militares.

FIBE: Ficha Básica de Emergencia.

IMSA: Ilustre Municipalidad de San Antonio.

INE: Instituto Nacional de Estadísticas.

LGBTIQ+: Lesbiana, Gay, Bisexual, Transgénero, Intersexual, Queer, + otros no representados en la sigla.

ONEMI: Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior.

PCE: Plan Comunal de Emergencia.

PCEIMSA: Protección Civil y Emergencias Ilustre Municipalidad de San Antonio.

PDI: Policía de Investigaciones.

SIDA: Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida.

VCP: Visor Chile Preparado.

VIH: Virus de la Inmunodeficiencia Humana.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	4
ABSTRACT	4
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS	11
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO 1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
1.1 CONTEXTO Y SITUACIÓN ACTUAL.....	15
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO 2 MARCO CONCEPTUAL	19
2.1 PLAN COMUNAL DE EMERGENCIA DE SAN ANTONIO	19
2.1.1 COMITÉ COMUNAL DE OPERACIONES DE EMERGENCIA	19
2.1.2 ROLES Y FUNCIONES DE ENTIDADES Y ORGANISMOS.....	21
2.1.3 TIPOS DE DESASTRES	21
2.2 GUÍA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE ALBERGUES MUNICIPALES	22
2.3 TÉCNICA/AS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	26
2.3.1 ALGORITMO GREEDY	26
2.3.2 ALGORITMO SIMULATED ANNEALING	27
2.4 ESTADO DEL ARTE.....	28
2.4.1 DISTRIBUCIÓN DE CIVILES A ALBERGUES	28
2.4.2 MODELOS MULTIOBJETIVOS	30
CAPÍTULO 3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN	32
3.1 ALBERGUES DISPONIBLES	32
3.1.1 ALBERGUES PREDEFINIDOS	32

3.1.2 ALBERGUES ALTERNATIVOS	32
3.2 FACTOR DE AFINIDAD	33
3.3 MODELO MATEMÁTICO	35
3.3.1 VARIABLES Y PARÁMETROS	35
3.3.2 FUNCIÓN OBJETIVO	36
3.3.3 RESTRICCIONES	36
3.4 CLASES	37
3.5 ESTRUCTURAS DE DATOS	39
3.6 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN	41
3.7 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO	41
3.7.1 INSTANCIAS Y PARÁMETROS	42
3.7.2 FUNCIONES AUXILIARES	44
3.7.3 ALGORITMO GREEDY	46
3.7.4 ALGORITMO SIMULATED ANNEALING	48
CAPÍTULO 4 VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN	50
4.1 CASOS DE PRUEBA	50
4.1.1 CASO 1	53
4.1.2 CASO 2	53
4.1.3 CASO 3	54
4.1.4 CASO 4	54
4.2 RESULTADOS	55
4.2.1 RESULTADOS CASO 1	55
4.2.2 RESULTADOS CASO 2	57
4.2.3 RESULTADOS CASO 3	60
4.2.4 RESULTADOS CASO 4	62
4.3 CALIDAD DE SOLUCIONES	64
4.4 TIEMPOS DE EJECUCIÓN	67

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES	70
TRABAJO A FUTURO	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS	73
INTERFAZ GRÁFICA	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Árbol del Problema. Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 2: Diagrama de Flujo de Procesos COE Comunal. Fuente: Plan Comunal de Emergencia de San Antonio.	20
Figura 3: Zonas de Riesgo de Tsunami Ciudad de San Antonio. Fuente: IMSA www.sanantonio.cl	23
Figura 4: Pseudocódigo Procedimiento Algoritmo <i>Greedy</i> . Fuente: <i>Algoritmos Voraces</i> [Brassard, 1997].	27
Figura 5: Pseudocódigo Procedimiento Algoritmo <i>Simulated Annealing</i> . Fuente: Elaboración Propia.	28
Figura 6: Matriz de Factores de Afinidad. Fuente: Elaboración Propia.	39
Figura 7: Estructura de Datos para Almacenar Soluciones. Fuente: Elaboración Propia.	40
Figura 8: Estructura de Datos para Almacenar Movimientos. Fuente: Elaboración Propia.	41
Figura 9: Diagrama de Flujo Algoritmo <i>Greedy</i> . Fuente: Elaboración Propia.	47
Figura 10: Pseudocódigo Algoritmo <i>Greedy</i> . Fuente: Elaboración Propia.	47
Figura 11: Diagrama de Flujo Algoritmo <i>Simulated Annealing</i> . Fuente: Elaboración Propia.	48
Figura 12: Pseudocódigo Algoritmo <i>Simulated Annealing</i> . Fuente: Elaboración Propia.	49
Figura 13: Posición Geográfica Albergues y Emergencias. Fuente: Elaboración Propia.	52
Figura 14: Factores de Afinidad de las Familias Caso 1. Fuente: Elaboración Propia.	57
Figura 15: Factores de Afinidad de las Familias Caso 2. Fuente: Elaboración Propia.	59
Figura 16: Factores de Afinidad de las Familias Caso 3. Fuente: Elaboración Propia.	61
Figura 17: Factores de Afinidad de las Familias Caso 4. Fuente: Elaboración Propia.	64
Figura 18: Valores Función Objetivo por Ejecución, para distribución de 80 Familias. Fuente: Elaboración Propia.	66

Figura 19: Valores Función Objetivo por Ejecución, para distribución de 100 Familias. Fuente: Elaboración Propia.	66
Figura 20: Valores Función Objetivo por Ejecución, para distribución de 150 Familias. Fuente: Elaboración Propia.	67
Figura 21: Tiempos de Ejecución según cantidad de Familias y Albergues. Fuente: Elaboración Propia.....	68
Figura 22: Tiempos de Ejecución para Distribución de 100 Familias. Fuente: Elaboración Propia.....	69
Figura 23: Ingreso de Datos Iniciales. Fuente: Elaboración Propia.	73
Figura 24: Información General de Distribución. Fuente: Elaboración Propia.	74
Figura 25: Emergencia Mapa Interactivo. Fuente: Elaboración Propia.....	74
Figura 26: Albergue Mapa Interactivo. Fuente: Elaboración Propia.....	75
Figura 27: Detalle Albergues. Fuente: Elaboración Propia.....	75
Figura 28: Distribución Albergues. Fuente: Elaboración Propia.....	76
Figura 29: Detalle Familias. Fuente: Elaboración Propia.....	77
Figura 30: Distribución Familias. Fuente: Elaboración Propia.....	77
Figura 31: Resumen Distribución por Tipo de Integrante Familiar. Fuente: Elaboración Propia.....	78
Figura 32: Detalle Emergencias. Fuente: Elaboración Propia.	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios usados para calcular el factor de bondad. Fuente: Adaptado de <i>Improving Homeless-to-Shelter Assignment Using Offline Greedy and Local Search Heuristics</i> [Khayatkhoshnevis, 2019].	29
Tabla 2: Escenario 1, valores factor de bondad medidos. Fuente: Adaptado de <i>Improving Homeless-to-Shelter Assignment Using Offline Greedy and Local Search Heuristics</i> [Khayatkhoshnevis, 2019].	29
Tabla 3: Ejemplo Factores de Afinidad. Fuente: Elaboración Propia.	35
Tabla 4: Identificadores de albergue. Fuente: Elaboración Propia.	50
Tabla 5: Parámetros de Albergues. Fuente: Elaboración Propia.	51
Tabla 6: Parámetros de Emergencias. Fuente: Elaboración Propia.	51
Tabla 7: Resumen Parámetros de Familias Caso 1. Fuente: Elaboración Propia.	53
Tabla 8: Resumen Parámetros de Familias Caso 2. Fuente: Elaboración Propia.	53
Tabla 9: Resumen Parámetros de Familias Caso 3. Fuente: Elaboración Propia.	54
Tabla 10: Resumen Parámetros de Familias Caso 4. Fuente: Elaboración Propia.	54
Tabla 11: Ejecuciones Caso 1. Fuente: Elaboración Propia.	55
Tabla 12: Distribución Familias Caso 1. Fuente: Elaboración Propia.	55
Tabla 13: Resumen Parámetros Distribución Familias Caso 1. Fuente: Elaboración Propia.	56
Tabla 14: Ejecuciones Caso 2. Fuente: Elaboración Propia.	57
Tabla 15: Distribución Familias Caso 2. Fuente: Elaboración Propia.	58
Tabla 16: Resumen Parámetros Distribución Familias Caso 2. Fuente: Elaboración Propia.	58
Tabla 17: Ejecuciones Caso 3. Fuente: Elaboración Propia.	60
Tabla 18: Distribución Familias Caso 3. Fuente: Elaboración Propia.	60

Tabla 19: Resumen Parámetros Distribución Familias Caso 3. Fuente: Elaboración Propia.....	60
Tabla 20: Ejecuciones Caso 4. Fuente: Elaboración Propia.....	62
Tabla 21: Distribución Familias Caso 4. Fuente: Elaboración Propia.....	62
Tabla 22: Resumen Parámetros Distribución Familias Caso 4. Fuente: Elaboración Propia.....	63
Tabla 23: Factores de Afinidad para 12 familias. Fuente: Elaboración Propia.....	64
Tabla 24: Iteraciones y Temperatura por Ejecución. Fuente: Elaboración Propia.....	65

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, Chile ha sido un país propenso a sufrir diversas catástrofes, ya sean provocadas de manera natural como por la acción del ser humano, tales como terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, inundaciones, incendios, entre otros. Es un hecho que dichos desastres afecten a una parte importante de la población, por lo que es fundamental brindar protección a las personas y sus bienes. Debido a esto nace el proceso de evacuación, que contempla diversos protocolos y estrategias que permiten reaccionar ante estos acontecimientos.

Si bien, generar un plan de evacuación intenta afrontar y dar solución a diversos problemas, en esta memoria solo se abordará la asignación de la población afectada a albergues disponibles en la comuna de San Antonio. Para solucionar este problema se propone desarrollar un sistema basado en técnicas de inteligencia artificial que permitan distribuir a los civiles en albergues adecuados para estos, permitiendo por consecuencia utilizar los recursos disponibles de manera óptima.

El contenido presente en esta memoria se dividirá en cinco capítulos, los cuales se detallan a continuación:

1. En el primer capítulo **Definición del Problema**, se presentará el contexto y la situación actual asociada al problema de distribución de civiles a albergues, además de plantear los objetivos generales y específicos por lograr en esta memoria.
2. En el segundo capítulo **Marco Conceptual**, se presentarán los principales fundamentos en los que se basa el sistema de distribución de civiles a albergues que se presenta en esta memoria. Entre ellos, el resumen de distintos documentos compartidos por la Ilustre Municipalidad de San Antonio, las técnicas de inteligencia artificial por utilizar y el estado del arte donde se analizarán las soluciones propuestas para problemas similares, con el fin de encontrar tendencias y metodologías de desarrollo utilizadas actualmente.
3. En el tercer capítulo **Propuesta de Solución**, se presentarán el modelo matemático y la lógica del algoritmo que permitirá la resolución del problema. Además, se detallarán los albergues propuestos, las clases, estructuras de datos y lenguaje de programación utilizadas por el algoritmo y se definirá el factor de afinidad, que permitirá optimizar la distribución de los civiles de acuerdo con diversos parámetros.
4. En el cuarto capítulo **Validación de la Solución**, se presentarán e interpretarán los resultados obtenidos de someter el algoritmo ante diversos casos de prueba, analizando la calidad de las distribuciones y los tiempos de ejecución empleados.
5. En el quinto capítulo **Conclusiones**, se presentará un breve análisis del problema y de los resultados obtenidos en su fase experimental, describiendo el alcance y las

limitaciones del algoritmo propuesto y las técnicas de inteligencia artificial utilizadas. Además, se plantearán los trabajos futuros que pueden realizarse sobre la solución propuesta.

CAPÍTULO 1

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 CONTEXTO Y SITUACIÓN ACTUAL

Generar un plan de evacuación ante una catástrofe en la comuna de San Antonio es fundamental para intentar afrontar y dar solución a diversos problemas, dentro de estos se encuentra el problema de asignación de población afectada a albergues disponibles, que será el tema abordado en esta memoria. Cabe destacar que el problema será definido acorde al Plan Comunal de Emergencia de San Antonio [IMSA, 2020], a la Guía para la Administración de Albergues Municipales [ONEMI, 2020] y a entrevistas realizadas al Comandante de Escuadras Matías Pavez Vasquez¹, al Capitán Fernando Cárdenas Artigas² y al Sargento Segundo José Vera Mura³ pertenecientes a la Escuela de Ingenieros Militares de San Antonio, al Sr. Marcos Torrejón⁴ encargado Provincial de Emergencias y al Sr. Juan Carlos Ortiz⁵ encargado Comunal de Emergencias.

Actualmente en el proceso de evacuación de San Antonio, se involucran diversos organismos que forman parte del Sistema de Protección Civil Comunal, de los cuales se destacarán los dos más importantes afines a esta memoria y de los que se ha obtenido mayor información, la Escuela de Ingenieros Militares o ESCING, que junto a otros organismos son los encargados de apoyar en la evacuación de civiles y el Comité Comunal de Operaciones de Emergencia o COE Comunal, quien es el grupo encargado de coordinar la activación, movilización y apoyo de los organismos que lo ameriten. Información más detallada sobre el Plan Comunal de Emergencia será descrita en el Capítulo 2 de este documento.

Si bien la ESCING posee el protocolo Plan de gestión de riesgos de desastres Kellun [ESCING, 2020] que les permite reaccionar ante una emergencia, el despliegue de la operación depende de la orden efectuada por el COE Comunal, quienes realizan la labor de planificación y coordinación de manera manual e improvisada de acuerdo con la situación que se enfrenta en el momento. Realizar dicha tarea de esta manera provoca algunos efectos negativos que podrían impedirse, en la Figura 1 se muestra el árbol del problema donde se puede visualizar de forma resumida las causas y efectos ligadas a este.

En cuanto a los albergues disponibles en San Antonio, solo tres establecimientos se encuentran destinados para cumplir esta labor, la Escuela Villa las Dunas, la Escuela España y la Escuela Padre André Coindre que en total poseen una capacidad máxima de albergue de aproximadamente 90 familias, lo que no es un valor adecuado para afrontar una emergencia que afecte a una parte importante de la población, ya que según el censo realizado el año 2017 [INE, 2017] la población de la comuna de San Antonio es de 91.350

¹ M. Pavez, comunicación personal, 4 de Junio de 2021

² F. Cárdenas, comunicación personal, 1 de Julio de 2021

³ J. Vera, comunicación personal, 1 de Julio de 2021

⁴ M. Torrejón, comunicación personal, 20 de Septiembre de 2021

⁵ J. Ortiz, comunicación personal, 24 de Septiembre de 2021

personas con un total de 32.493 viviendas. Por lo anterior, es que distintos establecimientos como escuelas, gimnasios, iglesias, entre otros, pasan a ser posibles candidatos para refugiar a los civiles afectados cuando se excede la capacidad de los albergues mencionados.

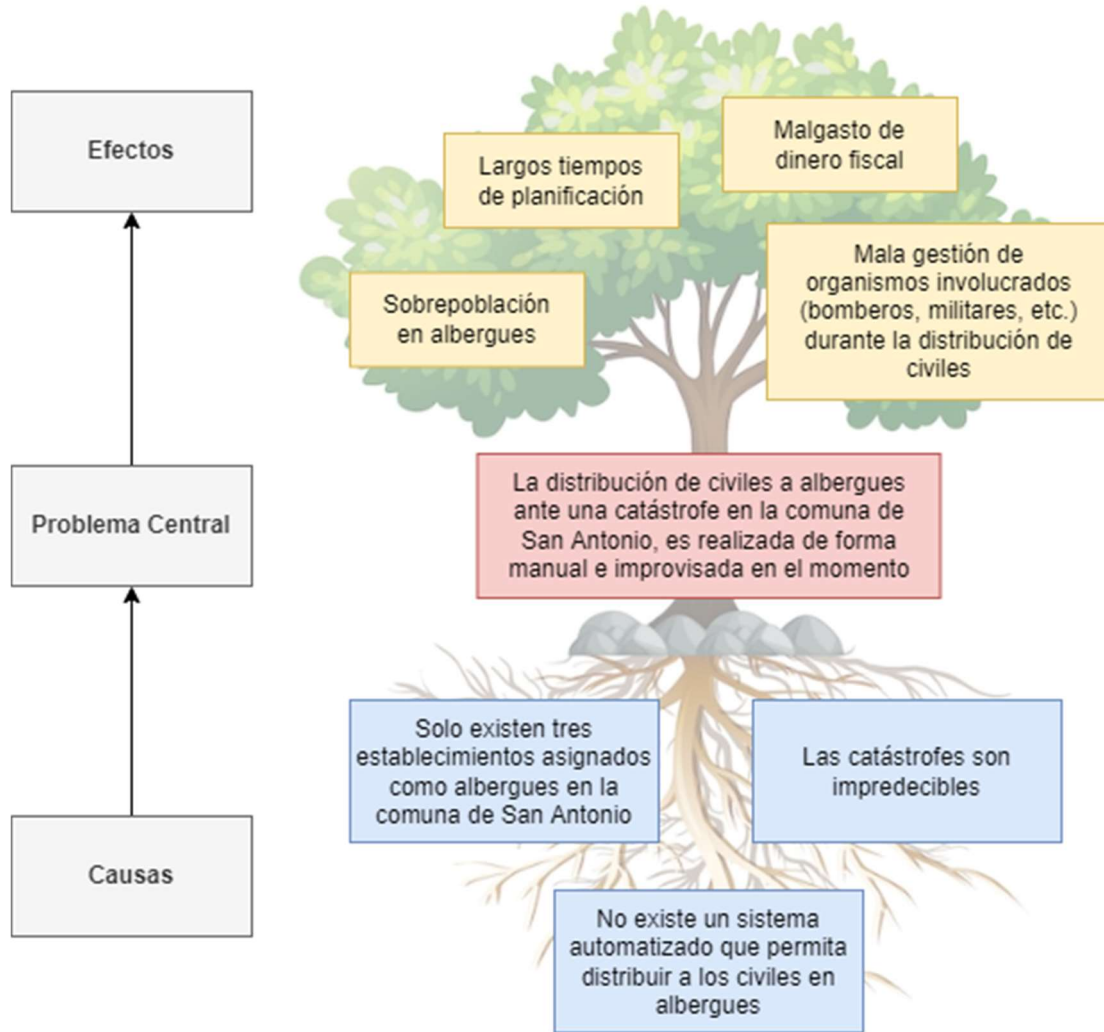


Figura 1: Árbol del Problema.

Fuente: Elaboración propia.

Se definen tres tipos de alertas dependiendo de la gravedad de la emergencia:

- 1. Alerta Temprana Preventiva:** Implica vigilancia permanente al escenario comunal y sus escenarios de riesgo, con el fin de alertar de manera oportuna situaciones que puedan generar una emergencia. A modo de ejemplo una alerta temprana preventiva es declarada al detectar un silencio sísmico⁶.

⁶ Un silencio sísmico ocurre cuando en una zona la actividad sísmica normal disminuye bruscamente.

- 2. Alerta Amarilla:** Se ejecutan las medidas de respuesta ante el incidente, preparando un posible proceso de evacuación y alistando los recursos necesarios. A modo de ejemplo una alerta amarilla es declarada si se detecta un enjambre sísmico⁷.
- 3. Alerta Roja:** A diferencia de la alerta amarilla, se ejecuta el proceso de evacuación y se movilizan los recursos necesarios. A modo de ejemplo una alerta roja es declarada cuando ocurre un terremoto.

Como se destaca anteriormente, el proceso de evacuación ocurre durante la alerta amarilla, donde la planificación tiene mayor holgura temporal, y durante la alerta roja, donde la planificación debe elaborarse en el menor tiempo posible. Existen tres escenarios posibles:

- Se declara en primera instancia alerta amarilla o roja, es decir, se debe elaborar un nuevo plan de evacuación de acuerdo con la emergencia.
- Se declara alerta roja con una alerta amarilla declarada con anterioridad, donde el plan de evacuación **no debe ser modificado**.
- Se declara alerta roja con una alerta amarilla declarada con anterioridad, donde el plan de evacuación **debe ser modificado**.

Debido a los escenarios descritos, se definen dos tipos de variantes al problema de evacuación ante catástrofes:

- 1. Variante Estática:** Esta variante está enfocada en generar un plan inicial de evacuación, permitiendo asignar de manera óptima a la población afectada en albergues, cumpliendo las restricciones necesarias.
- 2. Variante Dinámica:** Esta variante utiliza un plan de evacuación ya elaborado, se debe modificar las asignaciones según los nuevos requerimientos.

Para ambas variantes se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La asignación a los albergues se realiza sobre grupos familiares.
- Se debe establecer un radio para definir la zona afectada por la catástrofe.
- No existen albergues como tal, sino que se utilizan establecimientos que sean aptos para este propósito.
- No se debe exceder la capacidad de los albergues.
- La cantidad de recursos y personal destinados a un albergue debe ser adecuada.

⁷ Un enjambre sísmico ocurre cuando en una zona hay una recurrencia de sismos de intensidades medianas a fuertes.

- La distancia entre la zona afectada y los albergues a utilizar debe ser la menor posible.
- Se debe asignar a familias con niños y/o adultos mayores a albergues adecuados para estos.
- Se debe asignar a familias con personas con discapacidad, enfermedades crónicas o inmunodeprimidas a albergues adecuados para estos.
- Se debe asignar a familias con mascotas a albergues que posean un espacio adecuado para estos.
- Existe la posibilidad de que ocurran catástrofes de manera simultánea.
- Para los establecimientos educacionales, solo los de tipo municipal pueden ser considerados como posibles albergues.
- Todo albergue debe estar al menos a 30 metros sobre el nivel del mar (cota 30).
- Debe ser posible señalar familias para ser albergadas obligatoriamente.

1.2 OBJETIVOS

A continuación, se presentarán los objetivos por lograr en esta memoria.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y analizar planes de distribución de civiles ante diferentes tipos de catástrofes, con el fin de asignar de manera óptima a las personas afectadas a los albergues disponibles en la comuna de San Antonio.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el contexto actual en el que se desenvuelve el problema, considerando protocolos y estrategias utilizadas para enfrentar los distintos tipos de catástrofes.
- Diseñar un modelo matemático que logre representar a problemática de asignación de civiles a albergues, considerando el contexto planteado y sus diversas restricciones.
- Definir una técnica de inteligencia artificial adecuada para desarrollar el prototipo que generará los planes de distribución.
- Evaluar la solución final propuesta, sometiéndola a prueba ante diversos escenarios.

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se definirá el marco conceptual, que describirá los principales fundamentos en los que se basa el sistema de distribución de civiles a albergues que se presenta en este documento. Este capítulo se dividirá en las siguientes secciones:

1. Plan Comunal de emergencia de San Antonio [IMSA, 2020]
2. Guía para la Administración de Albergues Municipales [ONEMI, 2020]
3. Técnica/as de inteligencia artificial
4. Estado del Arte

2.1 PLAN COMUNAL DE EMERGENCIA DE SAN ANTONIO

El Plan Comunal de Emergencias o PCE es un instrumento operativo para la gestión de emergencias a escala comunal, el que tiene por objetivo establecer acciones de respuesta en sus distintas fases operativas, ante situaciones de emergencia o desastre, con el propósito de brindar protección a las personas, sus bienes y medio ambiente, en el territorio de la Comuna de San Antonio, a través de la coordinación del Sistema Comunal de Protección Civil.

2.1.1 COMITÉ COMUNAL DE OPERACIONES DE EMERGENCIA

El Comité Comunal de Operaciones de Emergencia o COE Comunal es una comisión conformada por diversas instituciones y organismos públicos o privados que, por mandato legal, competencia o interés pueden aportar a la gestión de la protección civil, tales como el Hospital Claudio Vicuña, Chilquinta, Esva, Carabineros de Chile, la Gobernación Marítima, entre otros.

El COE Comunal es el encargado de recopilar información, tomar decisiones acerca de las prioridades, y coordinar la acción y comunicación entre los organismos. En la Figura 2 se puede visualizar el diagrama de flujo de los procesos realizados por este comité, los cuales están directamente relacionados con el sistema propuesto en este documento.

Si bien la activación del COE Comunal no ocurre en cualquier situación de emergencia, en situaciones de catástrofe la convocatoria de este comité es un hecho, colaborando activamente junto al COE Provincial y Regional.

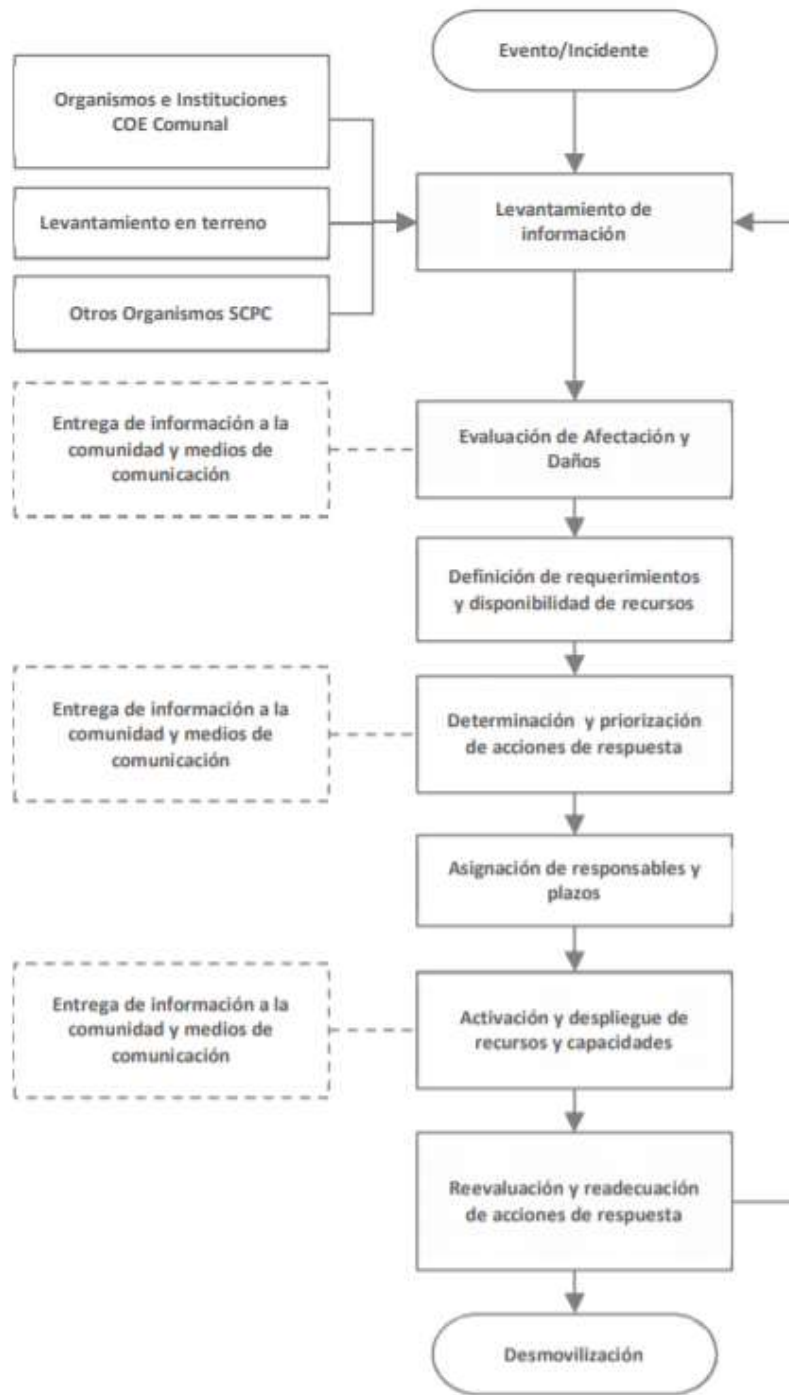


Figura 2: Diagrama de Flujo de Procesos COE Comunal.
Fuente: Plan Comunal de Emergencia de San Antonio.

2.1.2 ROLES Y FUNCIONES DE ENTIDADES Y ORGANISMOS

Solo algunas de las entidades y organismos que pertenecen al Sistema de Protección Civil Comunal son relevantes para esta memoria, debido al rol y función que cumplen en el proceso de evacuación (solo se describirán los roles y funciones acordes al contexto).

- **Alcalde/sa de la Comuna:** Entidad encargada de dirigir y presidir el COE Comunal y entregar la información oficial a la comunidad a través de los medios de comunicación.
- **Encargado/a Comunal de Protección Civil y Emergencias:** Entidad encargada de coordinar la activación, movilización y apoyo de organismos que así lo ameriten, proponer y actualizar los planes de respuesta ante diversos riesgos y es el responsable de la unidad técnica en evacuación de personas.
- **Departamento de Operaciones Municipal:** Organismo encargado de ejecutar la evacuación física de personas o familias (a casa de familiares o albergues) durante eventos no deseados.
- **Cuerpo de Bomberos de San Antonio o CBSA:** Organismo que es responsable técnico ante incendios forestales y estructurales, y ante eventos de materias peligrosas y emanación de gases. Apoya en la evacuación de los civiles.
- **Carabineros de Chile:** Organismo que es responsable del control del tránsito y que se encarga de informar el número de personas heridas, desaparecidas o fallecidas. Apoya en la evacuación de los civiles.
- **Gobernación Marítima:** Organismo que apoya en la evacuación de los civiles.
- **Escuela de ingenieros Militares o ESCING:** Organismo que es responsable técnico en la zona de catástrofe declarada. Apoya en la evacuación de los civiles, en el transporte de recursos, en eventos de origen hidrometeorológicos e incendios forestales.
- **Policía de Investigaciones de Chile o PDI:** Organismo responsable de disponer servicios de orden y seguridad suficientes, que permitan el resguardo de las personas y sus bienes, además de informar de manera preliminar el impacto generado de acuerdo con lo señalado por su personal desplegado en terreno. Apoya en la evacuación de civiles.

2.1.3 TIPOS DE DESASTRES

El PCE presenta el protocolo y procedimiento establecido para dar respuesta a cinco tipos de desastres.

- 1. Incendios Estructurales:** Dado que la extensión y severidad de los incendios estructurales es variable, la autoridad debe asesorarse previamente antes de iniciar la designación de albergues y distribución de civiles afectados.
- 2. Accidentes Químicos:** Al igual que los incendios estructurales el inicio de la designación de albergues y distribución de civiles afectados dependerá de la extensión y severidad del accidente químico.
- 3. Tsunamis:** Al ser declarado un tsunami el proceso de evacuación inicia inmediatamente. Desarrollar la planificación para este tipo de desastre es más simple en comparación con otros, pues como se puede visualizar en la Figura 3, las zonas de riesgo ante un tsunami ya están definidas con anterioridad.
- 4. Terremotos:** Al ocurrir un terremoto la prioridad es salvar vidas, por lo que se comienza rescatando a las personas heridas y se evalúan los daños ocasionados, luego de esto se inicia la designación de albergues y distribución de civiles afectados. Si luego de un terremoto se declara alerta de tsunami el protocolo a seguir cambia inmediatamente.
- 5. Cambio Climático:** Se contemplan diversos escenarios de riesgo derivados del cambio climático, tales como, incendios forestales mayormente destructivos, inundaciones fluviales, inundaciones costeras por comportamiento anormal del océano, erosión de playas y acantilados, entre otros. Al igual que los incendios estructurales y los accidentes químicos el inicio de la designación de albergues y distribución de civiles afectados dependerá de la extensión y severidad de los escenarios de riesgo anteriormente señalados.

2.2 GUÍA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE ALBERGUES MUNICIPALES

La Guía para la Administración de Albergues Municipales es un documento dirigido a Municipios redactado por la ONEMI, en el que se presentan diversas indicaciones para lograr un uso eficiente, eficaz y oportuno de recursos humanos, materiales y económicos dentro de un albergue.

Si bien este documento también presenta instrucciones sanitarias para el correcto funcionamiento del albergue ante la pandemia provocada por COVID-19, solo se describirá aquellos puntos de interés acordes a esta memoria, considerando un escenario de normalidad donde dicha pandemia es excluida.

Uno de los puntos a destacar, es la distribución del personal a cargo del albergue los cuales se dividen en 5 distintas áreas específicas, donde se definen los siguientes roles y funciones:

- 1. Encargado/a del Albergue:** es el encargado de la administración del albergue, entre sus principales funciones se encuentran tareas como, organizar a los encargados de las distintas áreas velando por el cumplimiento de sus responsabilidades, organizar y dividir el trabajo de voluntarios que cooperarán en las labores del albergue, distribuir los espacios del albergue (dormitorios, comedor, etc.), establecer horarios para las diversas actividades, solicitar al Municipio aquellos elementos necesarios para el buen desempeño del albergue y la comodidad de los albergados, establecer un registro de ingreso y salida de las personas albergadas, mantener la disciplina asegurando una convivencia de respeto entre las personas, entre otras.
- 2. Encargado/a de Salud:** entre sus principales funciones se encuentran tareas como, contar con una ficha médica de cada persona albergada, establecer rondas diarias de control médico, velar por el acceso y disponibilidad de medicamentos para personas con enfermedades crónicas e inmunodeprimidas, velar por el acceso y calidad del agua del albergue, determinar necesidades especiales de alimentación de los albergados, identificar y evaluar en las personas albergadas, personal voluntario y encargados cambios cognitivos, emocionales y físico conductuales, frente a una emergencia de salud derivar al centro de salud más cercano, entre otras.
- 3. Encargado/a de Alimentación:** entre sus principales funciones se encuentran tareas como, comunicar al encargado del albergue todas las necesidades, tanto materiales como humanas para el cumplimiento de su labor, inspeccionar los alimentos comprobando su procedencia, contenido, fecha de caducidad y estado de conservación, controlar la higiene de los utensilios utilizados, verificar diariamente el número exacto de albergados con el propósito de solicitar las raciones o alimentos suficientes sin desperdiciar recursos y a la vez, evitar la insuficiencia de estos, controlar el cumplimiento de los turnos para el uso del comedor establecidos por el encargado del albergue, velar por la adecuada nutrición de madres gestantes y lactantes, niños, niñas, adultos mayores, enfermos crónicos, personas con alergia alimentaria e inmunodeprimidos, entre otros.
- 4. Encargado/a de Área Social:** entre sus principales funciones se encuentran tareas como, realizar encuestas sociales a los albergados, coordinar con el Municipio la aplicación de la Ficha Básica de Emergencia o FIBE⁸ y cualquier instancia que implique la evaluación y entrega de ayuda social o beneficios a las personas albergadas, coordinar la repartición interna de elementos de emergencia (colchones, frazadas, etc.), gestionar y registrar aquellas personas que necesiten salir para realizar trámites impostergables, que deban ir a trabajar o deban realizar visitas o trabajos en las viviendas afectadas, entre otros.

⁸ FIBE es una encuesta que permite recopilar información de personas o familias afectadas por emergencias, tales como terremotos, tsunamis, incendios, entre otros; y que producto de la emergencia fueron afectados sus enseres y su vivienda.

5. **Encargado/a de Área de Aseo e Higiene:** entre sus principales funciones se encuentran tareas como, organizar cuadrillas de aseo de servicios higiénicos que deben realizar limpieza general a baños al menos 2 veces al día, encargarse del manejo de residuos, donde se debe asignar 1 tambor de basura de 200 litros para 5 familias, los cuales deben recolectarse regularmente y si es necesario de forma diaria; velar por la limpieza de dormitorios, comedores, cocina, patios, entre otros.
6. **Encargado/a de Área Recreacional:** entre sus principales funciones se encuentran tareas como, programar actividades de tipo recreacional para evitar la inactividad de las personas albergadas, coordinar y establecer actividades lúdicas de acuerdo con el grupo etario, gestionar la entrega de libros para lectura, cuentos, libros y lápices para colorear, sopa de letras, sudokus, etc.; realizar ejercicios de relajación y respiración, gestionar la comunicación de las personas albergadas con familiares y amigos a través de llamadas telefónicas y videollamadas, coordinar la realización de manualidades como tejido, bordado, origami, entre otras.

En cuanto a la infraestructura necesaria en el albergue, se presentan diversos espacios comunes que se detallarán de manera general a continuación:

1. **Salas/Dormitorios:** lugar destinado al descanso y pernoctación de las personas albergadas. Se asignan camas, catres de campaña o colchones/colchonetas con al menos 2 frazadas por persona y se debe disponer de frazadas adicionales para adultos mayores y menores de edad en caso de que fuese necesario.
2. **Baños:** se debe asignar 1 baño por cada 10 personas (baño accesible para personas en situación de discapacidad), si es posible se recomienda que los baños sean de uso exclusivo por familia, en caso contrario deberán ser distribuidos por género.
3. **Duchas:** se debe establecer 1 ducha por cada 20 personas, estableciendo turnos para su uso.
4. **Lavandería:** se debe establecer 1 lavadero por cada 10 personas, que debe contar con detergente, zonas para tender la ropa, idealmente con lavadoras, secadoras y agua caliente.
5. **Cocina:** debe contar con las condiciones mínimas que permitan la elaboración y almacenaje seguro de alimentos, además de los elementos necesarios para la correcta manipulación de estos.
6. **Zona Recreacional:** espacio al aire libre o recintos amplios techados como canchas que permitan caminar y distenderse a los albergados.
7. **Vías de Evacuación:** deben permitir el tránsito de varias personas a la vez y libre de obstáculos, se indican por medio de señalización, siempre hacia el área de seguridad.

8. **Enfermería:** este espacio debe ser destinado para aquellas personas que deban requerir de alguna atención especial menor, que no requiera hospitalización o derivación a algún otro recinto asistencial de salud.
9. **Alojamiento de Mascotas:** se debe considerar la habilitación en caso de ser necesario de un lugar de alojamiento de mascotas y animales de compañía, que permita su limpieza y mantención diaria para resguardar la salud de las personas y los animales.

La Guía para la Administración de Albergues Municipales define diversas consideraciones sobre condiciones de vulnerabilidad de los albergados, en la que se destacan los siguientes grupos, adultos mayores, personas con discapacidad, con enfermedades crónicas e inmunodeprimidas, con VIH/SIDA, personas LGBTIQ+, niños, niñas, adolescentes, personas migrantes y personas según su género.

2.3 TÉCNICA/AS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

2.3.1 ALGORITMO GREEDY

Brassard et al. [Brassard, 1997] definen los algoritmos Greedy o Voraces como una técnica utilizada típicamente para resolver problemas de optimización, que utiliza un enfoque miope, es decir, las decisiones se toman utilizando únicamente la información disponible en cada paso, sin tener en cuenta los efectos que estas decisiones puedan tener en el futuro.

Para construir la solución del problema, se dispone de un conjunto de candidatos sobre los cuales a medida que avanza el algoritmo se irán dividiendo entre dos conjuntos, aquellos que ya han sido considerados y seleccionados; y aquellos que han sido considerados y rechazados.

Brassard et al. definen cuatro tipos de funciones necesarias para el desarrollo del algoritmo *Greedy*:

1. La función *solución*, que comprueba si un cierto conjunto de candidatos constituye una solución al problema.
2. La función *factible*, que comprueba si un cierto conjunto de candidatos es factible, es decir, si es posible o no completar el conjunto añadiendo otros candidatos para obtener al menos una solución al problema.
3. La función *selección* o función *miope*, que corresponde a un criterio que indica en cualquier momento cuál es el más prometedor de los candidatos restantes, que no han sido seleccionados ni rechazados.
4. La función *objetivo*, que da el valor a la solución del problema hallada.

Los algoritmos voraces avanzan paso a paso. Inicialmente, el conjunto de elementos seleccionados se encuentra vacío, pero se irá añadiendo el mejor candidato elegido por la función miope en cada iteración. Si el candidato por añadir provoca que el conjunto no sea factible, es rechazado y se considera otro candidato, en caso contrario, se añade el candidato al conjunto de seleccionados y se continúa con la siguiente iteración. El procedimiento del algoritmo se presenta en la Figura 4.

```

función voraz(C: conjunto): conjunto
  {C es el conjunto de candidatos}
   $S \leftarrow \emptyset$  {Construimos la solución en el conjunto S}
  mientras  $C \neq \emptyset$  y no solución(s) hacer
     $x \leftarrow \text{seleccionar}(C)$ 
     $C \leftarrow C \setminus \{x\}$ 
    si  $\text{factible}(S \cup \{x\})$  entonces  $S \leftarrow S \cup \{x\}$ 
  si solución(S) entonces devolver S
  sino devolver «no hay soluciones»
  
```

Figura 4: Pseudocódigo Procedimiento Algoritmo Greedy.

Fuente: *Algoritmos Voraces* [Brassard, 1997].

2.3.2 ALGORITMO SIMULATED ANNEALING

De acuerdo con la definición realizada por Laarhoven et al. [Laarhoven, 1987] el algoritmo *Simulated Annealing* se basa en la analogía entre la simulación del calentamiento de sólidos y la resolución de problemas de optimización combinatoria. En el ámbito físico, la simulación de calentamiento de sólidos consiste en un proceso en el que un sólido se somete un baño de calor hasta un valor máximo al que se funde (dispone aleatoriamente sus partículas en estado líquido), seguido por un enfriamiento mediante la disminución lenta de la temperatura, donde sus partículas se reorganizan retomando su estado sólido y disminuyendo su energía al mínimo.

El algoritmo inicia en el proceso de enfriamiento que se prolongará por n_{max} iteraciones, desde un estado S_0 y con el valor máximo de temperatura. Dicha temperatura disminuirá de acuerdo con la iteración correspondiente a través de la función *temperatura(n)*. Adicionalmente, la función *vecino(S)* crea un estado S' que corresponde a un vecino generado desde un estado S .

En cuanto a la lógica utilizada, si la evaluación del estado S' es menor que la de S , entonces se cambia el estado S por S' . Si la evaluación de S' es mayor que la de S indica que el estado está empeorando, por lo que se define una probabilidad de aceptación que permitirá el

cambio del estado S por S' , esta probabilidad depende de la diferencia entre las evaluaciones de dichos estados y la temperatura T del sistema. El procedimiento del algoritmo se presenta en la Figura 5.

```

inicialización;
 $S \leftarrow S_0$ 
for  $n \leftarrow 0$  to  $n_{max}$  do
     $T \leftarrow temperatura(n)$ ;
     $S' \leftarrow vecino(S)$ ;
    if  $(S' - S < 0)$  then
        |  $S \leftarrow S'$ ;
    else
        | if  $(e^{\frac{-(S' - S)}{T}} \geq random(0,1))$  then
        | |  $S \leftarrow S'$ ;
        | end
    end
end
return  $S$ ;

```

Figura 5: Pseudocódigo Procedimiento Algoritmo *Simulated Annealing*.

Fuente: Elaboración Propia.

Cabe destacar que el enfoque utilizado por este algoritmo es minimizador, debido a esto es que para el desarrollo de esta memoria el algoritmo será ligeramente modificado, utilizando un enfoque maximizador, en donde bastará comprobar si la evaluación del estado S' es mejor que la de S , en cuyo caso se cambiará S por S' , en caso contrario se comprueba la probabilidad de aceptación.

2.4 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se procederá a discutir la literatura donde se analizarán las soluciones propuestas para problemas similares al planteado en este documento, con el fin de encontrar tendencias y metodologías de desarrollo utilizadas actualmente.

2.4.1 DISTRIBUCIÓN DE CIVILES A ALBERGUES

Khayyatkhooshnevis et al. [Khayyatkhooshnevis, 2019], presentan en su estudio una solución óptima para asignar personas sin hogar a albergues, utilizando algoritmo *Greedy* y heurísticas de búsqueda local. La función objetivo busca maximizar el valor mínimo de un factor de bondad para todas las personas sin hogar (tanto el valor individual como el promedio), dicho factor se calcula comparando algunas características de los individuos como la edad, nacionalidad, discapacidad, etc. y características del albergue como capacidad, disponibilidad para drogadictos, disponibilidad para enfermos, etc.; de esta manera logrando una distribución óptima de las personas acorde a las condiciones del

albergue. Si bien este estudio se basa en un contexto diferente al definido en esta memoria, el problema a resolver es muy similar.

Tabla 1: Criterios usados para calcular el factor de bondad.

Fuente: Adaptado de *Improving Homeless-to-Shelter Assignment Using Offline Greedy and Local Search Heuristics* [Khayyatkhooshnevis, 2019].

Criterios del Albergue	Criterio de Personas sin Hogar
Vacantes	Edad
Horario	Orientación Sexual
Condición de género	Ubicación
Condición de edad	Discapacidad
Capacidad Máxima	Embarazo
Filtro de nacionalidad	Emergencia
Abuso de sustancias	Nacionalidad
Condición de enfermedad	Sobriedad
Disponibilidad solo en invierno	Enfermedad

En la Tabla 1 se puede visualizar los distintos tipos de criterios utilizados para calcular el factor de bondad que Khayyatkhooshnevis utilizó en el algoritmo, cabe destacar que para cada individuo se debe calcular una cantidad de factores de bondad acordes al número de albergues disponibles, por ejemplo, en la Tabla 2 se puede visualizar los valores obtenidos para una instancia del problema, donde los resultados marcados en rojo pertenecen a la asignación final obtenida.

Tabla 2: Escenario 1, valores factor de bondad medidos.

Fuente: Adaptado de *Improving Homeless-to-Shelter Assignment Using Offline Greedy and Local Search Heuristics* [Khayyatkhooshnevis, 2019].

	Albergue 1	Albergue 2	Albergue 3	Albergue 4	Albergue 5
Individuo 1	5.2	0.2	8.7	9.3	2.9

Individuo 2	7.4	4.5	9.9	6.8	8.7
Individuo 3	2.4	2.4	8.8	7.2	6.8
Individuo 4	3.7	7.9	0.3	2.9	6.1
Individuo 5	4.6	2.0	8.5	4.9	6.0

Tanaka et al. [Tanaka, 2021] presentan dos métodos de decisión para la distribución de civiles a albergues, el primero de ellos establece la cantidad de personas a asignar en el mismo porcentaje para todos los albergues, y el segundo método realiza simulaciones de escenarios de evacuación antes de establecer los números de asignación. En ambos métodos se considera la capacidad del albergue y la existencia de personas que pueden no conocer o no respetar las instrucciones de evacuación, por ejemplo, dirigirse a un albergue al cual no fue asignado. Si bien ambos métodos pueden ser utilizados en esta memoria, el primero puede ser más beneficioso, pues para el segundo método usar simulaciones antes de la asignación, puede conllevar a estimaciones poco asertivas.

2.4.2 MODELOS MULTIOBJETIVOS

Uno de los estudios recientemente desarrollados es el realizado por Panchalee et al. [Panchalee, 2021] donde se presenta un modelo de optimización multiobjetivo para la ubicación y asignación de albergues con aplicación en Surat Thani, Tailandia; Panchalee et al. plantean tres objetivos distintos:

- Minimizar los costos totales, incluidos los costos fijos para la apertura de albergues, los costos de transporte de las víctimas y los costos de servicio.
- Minimizar el tiempo total para la evacuación de las víctimas.
- Minimizar el número de albergues abiertos.

Además, se tuvieron diversas consideraciones, tales como:

- Escuelas, universidades, gimnasios, ayuntamientos y templos fueron utilizados como candidatos a albergues.
- Hay una cantidad total de 20 albergues candidatos con una capacidad de 500 a 2000 personas por albergue.
- Según datos estadísticos alrededor de 5076 personas fueron víctimas de una inundación que afectó a 10 áreas en el distrito de Tha Uthae, Surat Thani.

- Según entrevistas realizadas a los responsables de la evacuación, se utilizaron 5 vehículos con una capacidad de 12 personas. La tasa de consumo de combustible fue de 8 kilómetros por litro y su velocidad 24 kilómetros por hora.
- Los costos fijos para la apertura de albergues están determinados por los gastos de baños portátiles, carpas para uso como cocinas temporales, centros médicos y almacenes.
- El costo del servicio se estima con base en el costo de contratación de personal y la duración de la ocurrencia del desastre.
- Los organismos gubernamentales pagan a los funcionarios gubernamentales el salario estándar de 380 baht tailandeses por persona y día.
- El personal necesario es de 1 empleado por cada 50 víctimas.
- La duración promedio de la ocurrencia de un desastre, basada en datos históricos, es de 6 días, mientras que el tiempo máximo estándar permitido para evacuar a las víctimas de cada área a los albergues asignados es de 72 horas.
- Además, cada distrito recibe una asignación inicial de 1.300.000 baht tailandeses.

Si bien este problema es mucho más complejo comparado con el que se enfoca esta memoria, se pueden encontrar diversas similitudes, tanto en los objetivos como en el planteamiento del problema.

CAPÍTULO 3

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Para resolver el problema planteado en esta memoria se propone desarrollar una solución basada en técnicas de inteligencia artificial que permitan obtener resultados satisfactorios y distribuir a las familias rápidamente.

Durante este capítulo se detallará el algoritmo propuesto y las consideraciones propias del problema a resolver en la Ciudad de San Antonio. En primer lugar, se definirán los albergues a considerar por el algoritmo, seguido por la definición del factor de afinidad que permitirá posteriormente el planteamiento del modelo matemático. Continuando, se describirán las clases y estructuras de datos utilizadas, como también el lenguaje de programación en el que fue desarrollado el algoritmo. Finalmente, se presentará la descripción del algoritmo en base a todo lo anteriormente planteado.

3.1 ALBERGUES DISPONIBLES

Para el desarrollo de la solución se utilizarán datos específicos de los albergues, como la ubicación, capacidad e infraestructura, cabe destacar que los datos presentes de estos establecimientos son estimaciones que pueden no reflejar la realidad.

3.1.1 ALBERGUES PREDEFINIDOS

Actualmente solo tres establecimientos están destinados a cumplir la labor de albergue, cuya ubicación y capacidad fueron proporcionados por el encargado Comunal de Emergencia [DAEM, 2021]:

1. ESCUELA VILLA LAS DUNAS

Dirección: Pasaje Ocoa N° 2467, San Antonio, Valparaíso.

Capacidad: 20 familias.

2. ESCUELA ESPAÑA

Dirección: Avda. General Manuel Baquedano N° 581, San Antonio, Valparaíso.

Capacidad: 30 familias.

3. ESCUELA PADRE ANDRÉ COINDRE

Dirección: Julio Letelier N° 536, San Antonio, Valparaíso.

Capacidad: 38 familias.

3.1.2 ALBERGUES ALTERNATIVOS

Como se señaló en la definición del problema, los tres albergues anteriores no dan abasto para una emergencia que afecte a una parte importante de la población, por lo que es necesario definir posibles nuevos albergues que permitan auxiliar a las personas afectadas que no logren ser refugiadas. Se proponen los siguientes establecimientos que se encuentran sobre la cota 30, es decir, 30 metros sobre el nivel del mar [VCP, 2021]:

1. ESCUELA POETA PABLO NERUDA

Dirección: Camilo Henríquez N° 230, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 18 familias.

2. ESCUELA MOVILIZADORES PORTUARIOS

Dirección: Florencia N° 984, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 28 familias.

3. ESCUELA CRISTO DEL MAIPO

Dirección: José Miguel Carrera N° 1053, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 16 familias.

4. ESCUELA CERRO PLACILLA

Dirección: García Huidobro N° 651, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 14 familias.

5. GIMNASIO JOSÉ ROJAS ZAMORA

Dirección: Robinson Crusoe N° 575, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 10 familias.

6. IGLESIA EVANGÉLICA PENTECOSTAL LLOLLEO

Dirección: Inmaculada Concepción N° 788, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 8 familias.

7. IGLESIA PENTECOSTAL

Dirección: El Sauce N° 975, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 6 familias.

8. CAPILLA MARÍA ESTRELLA DE MAR

Dirección: Esperanza N° 1060-1150, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 6 familias.

9. IGLESIA METODISTA PENTECOSTAL DE CHILE

Dirección: Domingo García Huidobro Fernández N° 1605, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 6 familias.

10. IGLESIA EJÉRCITO EVANGÉLICO DE CHILE

Dirección: Jossen N° 1436, San Antonio, Valparaíso.
Capacidad: 6 familias.

3.2 FACTOR DE AFINIDAD

Como se señaló en la definición del problema, las familias son diferenciadas por poseer uno o más integrantes que sean niños, adultos mayores, mascotas o que padezcan algún tipo

de discapacidad, enfermedad crónica o inmunodeprimida, es por esto, que la compatibilidad de dichas familias con el albergue al cual serán designadas es fundamental para su correcta distribución.

Con el fin de declarar numéricamente dicha compatibilidad es que se definirá un factor que indicará la afinidad entre la familia y el albergue correspondiente. Para calcular este valor se tendrán en cuenta cinco atributos:

1. **Niños:** Si la familia posee al menos un niño, el albergue debiese tener zona recreativa.
2. **CM:** Si la familia posee adultos mayores o personas con enfermedad crónica o inmunodeprimida, el albergue debiese estar cercano a un centro médico.
3. **Discapacidad:** Si la familia posee personas con discapacidad, la infraestructura del albergue debiese ser apta para ellos.
4. **Mascotas:** Si la familia posee mascotas, el albergue debiese tener un sector de alojamiento para estos.
5. **Distancia:** La distancia entre la familia afectada por la emergencia y el albergue de destino.

Si bien los primeros cuatro atributos son definidos como una expresión lógica, es decir, se le asigna el valor 0 si no se cumple la condición o 1 en otros casos, calcular el valor de *Distancia* presenta una mayor complejidad. Para esto se debe tener en consideración que se necesitará con anterioridad la mayor distancia D_{Max} entre una familia afectada por una emergencia y un albergue, y también la distancia D entre la familia y el albergue sobre los cuales se desea calcular su afinidad, de esta manera su valor es definido por:

$$Distancia = 1 - \frac{D}{D_{Max}}$$

Cabe destacar que *Distancia* será 0 cuando D coincida con D_{Max} y se irá aproximando a 1 entre menor sea la distancia entre la familia y el albergue correspondiente.

Por simplicidad para esta memoria, cada atributo contribuirá un 20% al total del factor de afinidad, dando como resultado:

$$Factor\ Afinidad = 0.2 \cdot Niños + 0.2 \cdot CM + 0.2 \cdot Discapacidad + 0.2 \cdot Mascotas + 0.2 \cdot Distancia$$

Ahora bien, para utilizar este factor de afinidad en el algoritmo que se propondrá en las siguientes secciones, se debe generar una matriz de coeficientes que relacione todas las familias afectadas con los albergues disponibles a través de este valor.

A modo de ejemplo, si se considera una emergencia que afecta a 4 familias, las cuales:

1. Familia 1, tiene un niño y una persona discapacitada.
2. Familia 2, tiene un adulto mayor y una mascota.
3. Familia 3, tiene un niño, una mascota, una persona discapacitada y una persona inmunodeprimida.
4. Familia 4, solo adultos.

Y además hay 3 albergues disponibles que se encuentran a 1km, 1.5km y 2km de la emergencia respectivamente, y los cuales:

1. Albergue 1, es apto para discapacitados, cercano a un centro médico, posee zona recreativa y para animales.
2. Albergue 2, tiene zona recreativa y para animales.
3. Albergue 3, es apto para discapacitados.

En este caso, el valor de D_{Max} corresponde a 2km, ahora solo basta dar valor a los atributos y calcular el factor de afinidad para cada caso, generando así la matriz de coeficientes, dando como resultado:

Tabla 3: Ejemplo Factores de Afinidad.

Fuente: Elaboración Propia.

	Albergue 1	Albergue 2	Albergue 3
Familia 1	0.90	0.65	0.60
Familia 2	0.90	0.65	0.40
Familia 3	0.90	0.45	0.20
Familia 4	0.90	0.85	0.80

3.3 MODELO MATEMÁTICO

Se presenta el modelo matemático propuesto como solución al problema de distribución de civiles a albergues.

3.3.1 VARIABLES Y PARÁMETROS

I : Conjunto de familias afectadas.

I_o : Conjunto de familias por albergar obligatoriamente.

J : Conjunto de albergues.

J_p : Conjunto de albergues predefinidos.

J_a : Conjunto de albergues alternativos.

$$J = J_p \cup J_a$$

C_j : Capacidad del albergue j , $\forall j \in J$.

E : Conjunto de emergencias.

R_e : Radio de zona afectada por emergencia e , $\forall e \in E$.

a_{ij} : Factor de afinidad entre familia i con albergue j , $\forall i \in I, j \in J$.

$$\begin{array}{l}
 x_j \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ si el albergue } j \text{ está disponible para albergar.} \\ 0, \text{ en otro caso.} \end{array} \right. \quad \forall j \in J \\
 y_j \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ si el albergue } j \text{ es seleccionado para albergar.} \\ 0, \text{ en otro caso.} \end{array} \right. \quad \forall j \in J \\
 x_{ij} \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ si la familia } i \text{ es asignada en el albergue } j. \\ 0, \text{ en otro caso.} \end{array} \right. \quad \forall i \in I, j \in J \\
 y_{je} \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ si el albergue } j \text{ está a más de } R_e \text{ kilómetros de} \\ \text{la posición central de la emergencia } e. \\ 0, \text{ en otro caso.} \end{array} \right. \quad \forall j \in J, e \in E
 \end{array}$$

3.3.2 FUNCIÓN OBJETIVO

Se busca maximizar la siguiente función objetivo:

$$\text{Max } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij} \cdot x_{ij}$$

Con el objetivo de albergar a las familias en albergues adecuados.

3.3.3 RESTRICCIONES

Una familia solo puede ser asignada en un albergue a la vez.

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I$$

Cantidad de familias asignadas a un albergue no debe superar su capacidad máxima.

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq C_j \quad \forall j \in J$$

Familias por albergar obligatoriamente deben estar albergadas.

$$\sum_{i \in I_o} x_{ij} = \sum_{i \in I_o} 1 \quad \forall j \in J$$

Los albergues disponibles deben estar fuera del radio de emergencia.

$$x_j = \left[\frac{\sum_{e \in E} y_{je}}{\sum_{e \in E} 1} \right] \quad \forall j \in J$$

Los albergues predefinidos siempre serán seleccionados mientras estén fuera del radio de emergencia.

$$y_j = x_j \quad \forall j \in J_p$$

Los albergues alternativos no deben ser seleccionados si los albergues predefinidos disponibles permiten albergar a todas las familias.

$$y_j \leq \exp \left(\sum_{i \in I} 1 - \sum_{j \in J_p} C_j x_j - 1 \right) \quad \forall j \in J_a$$

Una familia solo puede ser asignada en albergues que hayan sido seleccionados para esto.

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I, j \in J$$

Dominio de variables

$$x_j, y_j, x_{ij}, y_{je} \in \{0,1\}$$

$$\forall i \in I, j \in J, e \in E$$

3.4 CLASES

Con el fin de almacenar los datos y parámetros de albergues, emergencias y familias, es que se definirán 3 tipos de clases.

La clase **Albergue**, que contendrá los siguientes atributos:

- **ID:** Número entero de identificación del albergue.
- **Latitud:** Valor en coma flotante que indica la latitud de la posición del albergue.
- **Longitud:** Valor en coma flotante que indica la longitud de la posición del albergue.
- **Predefinido:** Valor booleano que indica si el albergue es predefinido.
- **Capacidad:** Valor entero que indica la capacidad del albergue.
- **Apto Discapacitados:** Valor booleano que indica si la infraestructura del albergue es apta para discapacitados.
- **Zona Recreativa:** Valor booleano que indica si el albergue tiene una zona recreativa.
- **Zona Mascotas:** Valor booleano que indica si el albergue tiene una zona para alojamiento de mascotas.
- **Centro Médico:** Valor booleano que indica si el albergue se encuentra en cercanía de un centro médico.
- **Distancia Máxima:** Valor en coma flotante que indica la distancia máxima entre un albergue y una emergencia.
- **Disponibilidad:** Valor booleano que indica si el albergue se encuentra fuera del radio de emergencia.
- **Distancia Promedio:** Valor en coma flotante que indica la distancia promedio del albergue con las emergencias.

La clase **Emergencia**, que contendrá los siguientes atributos:

- **ID:** Número entero de identificación de la emergencia.
- **Latitud:** Valor en coma flotante que indica la latitud de la posición central de la emergencia.
- **Longitud:** Valor en coma flotante que indica la longitud de la posición central de la emergencia.
- **Radio Emergencia:** Valor en coma flotante que indica el radio de la emergencia.

La clase **Familia**, que contendrá los siguientes atributos:

- **ID:** Número entero de identificación de la familia.
- **ID Emergencia:** Número entero de identificación de la emergencia que afecta a la familia.
- **Discapacidades:** Valor booleano que indica si algún integrante de la familia es discapacitado.
- **Niños:** Valor booleano que indica si algún integrante de la familia es un niño.
- **Mascotas:** Valor booleano que indica si la familia posee mascotas.

- **Tercera Edad:** Valor booleano que indica si algún integrante de la familia es un adulto mayor, o si alguno padece enfermedad crónica o inmunodeprimida.
- **Albergue Asociado:** Número entero de identificación del albergue en donde la familia fue asignada (en caso de que hubiera sido albergada con anterioridad).
- **Obligación:** Valor booleano que indica si la familia debe ser albergada obligatoriamente.

3.5 ESTRUCTURAS DE DATOS

A continuación, se definirán los tipos de estructuras de datos que serán utilizados para el desarrollo de la solución.

1. En primer lugar, como se describió anteriormente en la sección del factor de afinidad, se utilizará una matriz de tamaño $N \times M$ para almacenar dichos valores, como se muestra en la Figura 6, donde N es la cantidad total de familias afectadas y M la cantidad total de albergues.

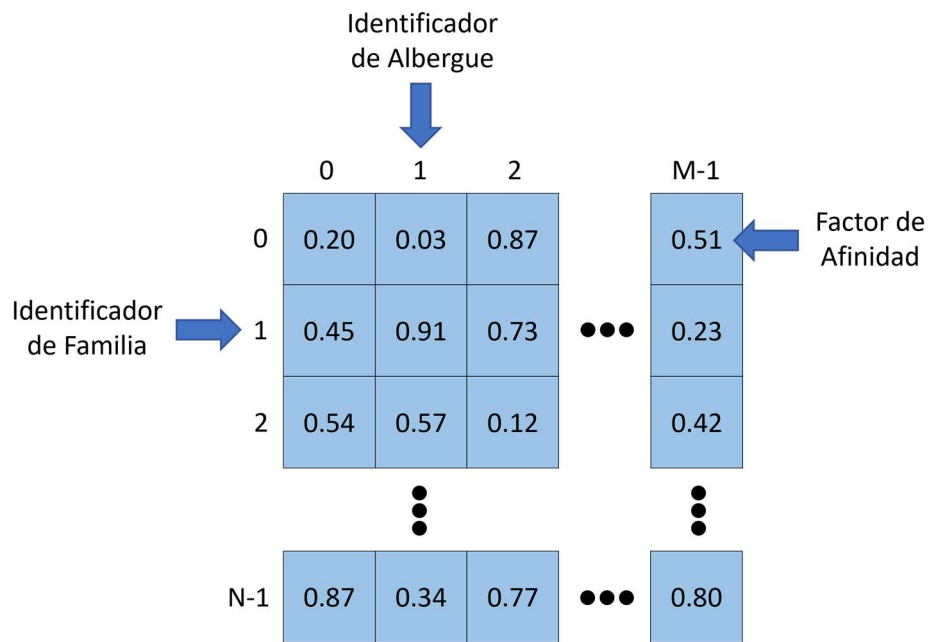


Figura 6: Matriz de Factores de Afinidad.
Fuente: Elaboración Propia.

Esta estructura de datos al almacenar todos los factores de afinidad permitirá al algoritmo llevar a cabo la evaluación de las soluciones generadas, de tal manera que al comparar dichas evaluaciones se logre respaldar la mejor solución encontrada.

2. En segundo lugar, la estructura de datos que se utilizará para almacenar una solución generada es una lista de listas, como se muestra en la Figura 7; esto se puede interpretar como una matriz con N filas, donde N corresponde a la cantidad de albergues seleccionados, aunque no se pueden definir la cantidad de columnas, pues cada fila posee largos independientes. Estas últimas listas descritas están formadas en el inicio por el número identificador del albergue seleccionado y seguidas por los números identificadores de las familias que han sido asignadas al albergue correspondiente.

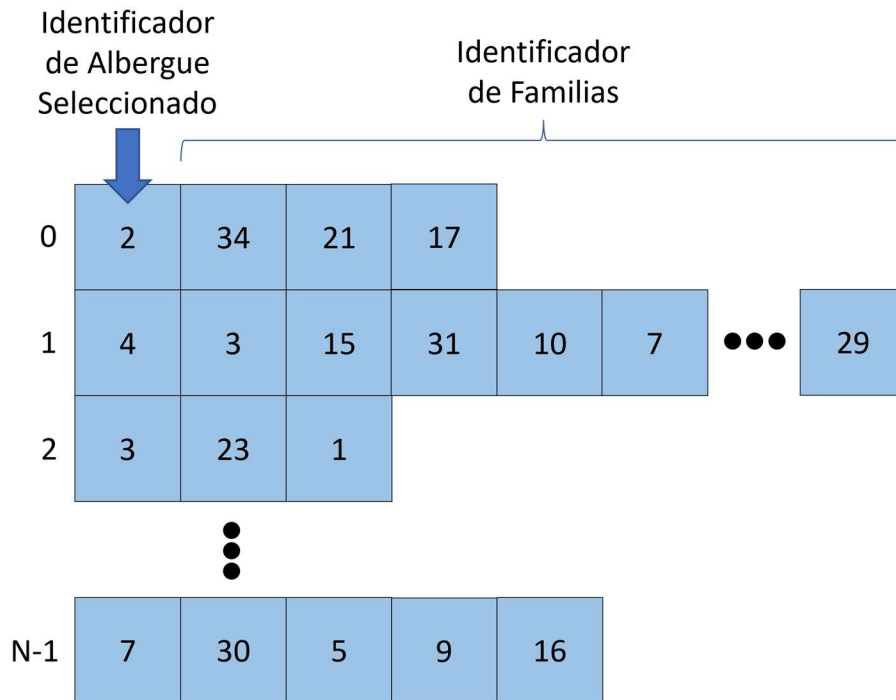


Figura 7: Estructura de Datos para Almacenar Soluciones.
Fuente: Elaboración Propia.

Esta estructura de datos permitirá al algoritmo llevar a cabo la evaluación de soluciones iniciales eficientemente, ya que especifica el identificador del albergue seleccionado y los identificadores de las familias que han sido asignadas a este.

3. En tercer lugar, la estructura de datos que se utilizará para almacenar el movimiento realizado por el algoritmo *Simulated Annealing* es una lista de listas, en donde se definen tres tipos de movimiento, como se muestra en la Figura 8, los cuales son:
 - a. Tipo de movimiento **0**, que indica que una familia albergada en un albergue seleccionado es intercambiada por una que aún no ha sido albergada.
 - b. Tipo de movimiento **1**, que indica el intercambio entre dos familias albergadas de diferentes albergues.

- c. Tipo de movimiento **2**, que indica el traspaso de una familia albergada a otro albergue distinto.

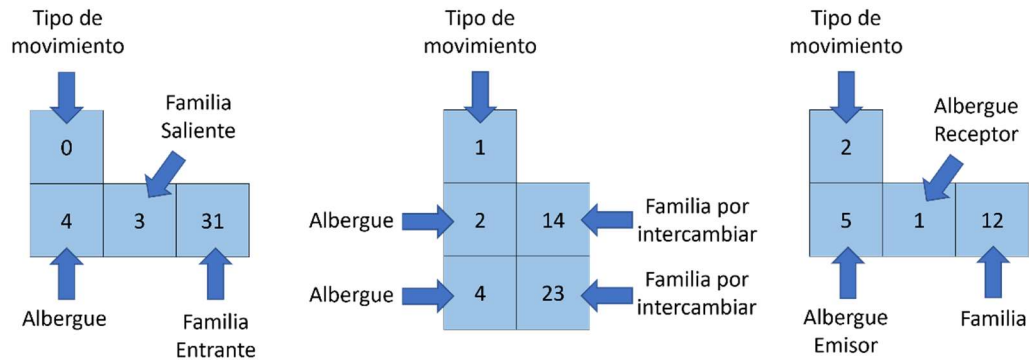


Figura 8: Estructura de Datos para Almacenar Movimientos.

Fuente: Elaboración Propia.

Esta estructura de datos permitirá al algoritmo llevar a cabo eficientemente la evaluación de nuevas soluciones, ya que evita el cálculo total de esta y solo se centra en los valores asociados al movimiento realizado.

4. Finalmente, la estructura de datos más simple a utilizar son listas de objetos de tipo Albergue, Familia y Emergencia, que permitirán detectar los datos de estos objetos de acuerdo con los identificadores correspondientes, además de auxiliar a funciones que serán detalladas en las siguientes secciones.

3.6 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Para el desarrollo de la solución se utilizó el lenguaje de programación *Python*, debido principalmente a tres factores, la fácil de manipulación de los datos, que permitió simplificar el uso de las estructuras anteriormente descritas, el uso de la librería *tkinter* para desarrollar interfaces y el uso de la librería *folium* que permite la creación de mapas web interactivos.

3.7 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

Para una mejor comprensión del desarrollo del algoritmo, se desglosará y describirá en cuatro partes; instancias y parámetros necesarios para su inicialización, funciones auxiliares que se fueron utilizadas, el algoritmo *Greedy* para el desarrollo de soluciones iniciales y el algoritmo *Simulated Annealing* que permitirá obtener la solución final.

3.7.1 INSTANCIAS Y PARÁMETROS

Inicialmente el algoritmo recibe como *input* tres archivos de extensión *.txt* que contienen las instancias de las emergencias, familias y albergues respectivamente, cuyas estructuras son las siguientes:

1. Estructura archivo para n emergencias:

```
<Id-1><Latitud-1><Longitud-1><Radio-1>  
  
<Id-2><Latitud-2><Longitud-2><Radio-2>  
  
.  
.  
.  
  
<Id-n><Latitud-n><Longitud-n><Radio-n>
```

En donde,

- a. Id, corresponde al número identificador de la emergencia.
- b. Latitud, corresponde a latitud de la posición central de la emergencia.
- c. Longitud, corresponde a longitud de la posición central de la emergencia.
- d. Radio, corresponde al radio de la emergencia en kilómetros.

Cada una de las filas de este archivo serán almacenadas en el algoritmo como un objeto de tipo Emergencia.

2. Estructura archivo para n familias:

```
<Id-1><Emergencia-1><Discapacidades-1><Ninos-1><Mascotas-1>  
    <TerceraEdad-1><Albergue-1><Obligacion-1>  
  
<Id-2><Emergencia-2><Discapacidades-2><Ninos-2><Mascotas-2>  
    <TerceraEdad-2><Albergue-2><Obligacion-2>  
  
.  
.  
.  
  
<Id-n><Emergencia-n><Discapacidades-n><Ninos-n><Mascotas-n>  
    <TerceraEdad-n><Albergue-n><Obligacion-n>
```

En donde,

- a. Id, corresponde al número identificador de la familia.
- b. Emergencia, corresponde al número identificador de la emergencia que afecta a la familia.

- c. Discapacidades, es “SI” si algún integrante de la familia es discapacitado y “NO” en caso contrario.
- d. Niños, es “SI” si algún integrante de la familia es un niño y “NO” en caso contrario.
- e. Mascotas, es “SI” si la familia posee mascotas y “NO” en caso contrario.
- f. TerceraEdad, es “SI” si algún integrante de la familia es un adulto mayor, o si alguno padece enfermedad crónica o inmunodeprimida y “NO” en caso contrario.
- g. Albergue, corresponde al número de identificación del albergue en donde la familia fue asignada, en el caso que no esté albergada el valor es 0.
- h. Obligacion, es “SI” si la familia debe ser albergada obligatoriamente y “NO” en caso contrario.

Cada una de las filas de este archivo serán almacenadas en el algoritmo como un objeto de tipo Familia.

3. Estructura archivo para n albergues:

```
<Id-1><Latitud-1><Longitud-1><Predefinido-1><Capacidad-1>  
<AptoDiscapacitados-1><ZonaRecreativa-1><ZonaMascotas-1><CentroMedico-1>
```

```
<Id-2><Latitud-2><Longitud-2><Predefinido-2><Capacidad-2>  
<AptoDiscapacitados-2><ZonaRecreativa-2><ZonaMascotas-2><CentroMedico-2>
```

.
.
.

```
<Id-n><Latitud-1><Longitud-n><Predefinido-n><Capacidad-n>  
<AptoDiscapacitados-n><ZonaRecreativa-n><ZonaMascotas-n><CentroMedico-n>
```

En donde,

- a. Id, corresponde al número identificador del albergue.
- b. Latitud, corresponde a la latitud de la posición del albergue.
- c. Longitud, corresponde a la longitud de la posición del albergue.
- d. Predefinido, es “SI” si el albergue es predefinido y “NO” en caso contrario.
- e. Capacidad, corresponde a la capacidad del albergue.
- f. AptoDiscapacitados, es “SI” si la infraestructura del albergue es apta para discapacitados y “NO” en caso contrario.
- g. ZonaRecreativa, es “SI” si el albergue tiene una zona recreativa y “NO” en caso contrario.

- h. ZonaMascotas, es “SI” si el albergue tiene una zona para alojamiento de mascotas y “NO” en caso contrario.
- i. CentroMedico, es “SI” si el albergue se encuentra en cercanía de un centro médico y “NO” en caso contrario.

Cada una de las filas de este archivo serán almacenadas en el algoritmo como un objeto de tipo Albergue.

3.7.2 FUNCIONES AUXILIARES

Se han definido diversas funciones que serán utilizadas durante el proceso de búsqueda de una solución óptima, las cuales son:

1. La función *comprobarBool* recibe como input una variable tipo string, retorna una variable booleana. El objetivo de esta función es permitir almacenar los valores “SI” como *True* y “NO” como *False*.
2. La función *cargarAlbergues* no recibe input, retorna una lista de objetos tipo Albergue. El objetivo de esta función es almacenar los datos de los albergues contenidos en el archivo *.txt* en una lista para permitir su manipulación.
3. La función *cargarEmergencias* no recibe input, retorna una lista de objetos tipo Emergencia. El objetivo de esta función es almacenar los datos de las emergencias contenidos en el archivo *.txt* en una lista para permitir su manipulación.
4. La función *cargarFamilias* no recibe input, retorna una lista de objetos tipo Familia. El objetivo de esta función es almacenar los datos de las familias contenidos en el archivo *.txt* en una lista para permitir su manipulación.
5. La función *calculoDistancia* recibe como input cuatro variables de tipo punto flotante, dos corresponden a valores de latitud y las otras dos a valores de longitud, retorna una constante de punto flotante que representa una distancia en kilómetros. El objetivo de esta función es calcular la distancia entre dos puntos geográficos a través de la fórmula del semiverseno⁹.
6. La función *alberguesFueraDeEmergencia* recibe como input dos listas, una de objetos de tipos Albergue y otra de tipo Emergencia, retorna una lista de objetos tipo Albergue. El objetivo de esta función es actualizar los atributos de los albergues añadiendo la distancia máxima encontrada, la distancia promedio entre el albergue y todas las emergencias; y la disponibilidad del albergue de acuerdo con el radio de emergencia.

⁹ La fórmula del semiverseno es una importante ecuación para la navegación astronómica, en cuanto al cálculo de la distancia de círculo máximo entre dos puntos de un globo sabiendo su longitud y su latitud.

7. La función *matrizCoeficientes* recibe como input tres listas, una de objetos tipo Albergue, una de tipo Emergencia y otra de tipo Familia, retorna una matriz de constantes de punto flotante (detallada en la primera estructura de datos en Propuesta de Solución 3.5). El objetivo de esta función es calcular los factores de afinidad de cada albergue y almacenarlos en la matriz.
8. La función *filtroAlbergues* recibe como input una lista de objetos de tipo Albergue y una variable booleana, retorna una lista de objetos de tipo Albergue. El objetivo de esta función es filtrar la lista de todos los albergues, permaneciendo solo aquellos que se encuentran disponibles por motivo de distancia y capacidad.
9. La función *menorAlbergue* recibe como input una lista de objetos de tipo Albergue, retorna un objeto de tipo albergue. El objetivo de esta función es seleccionar aquel albergue de la lista que posee menor distancia promedio con respecto a todas las emergencias.
10. La función *solucionInicial* recibe como input una lista de objetos de tipo Albergue y una lista de objetos de tipo Familia, retorna una lista de listas de números enteros que representa la solución (detallada en la segunda estructura de datos en Propuesta de Solución 3.5) y una lista de objetos de tipo Familia que contiene aquellas familias que no han logrado ser albergadas por la solución. El objetivo de esta función es generar una solución inicial al problema distribuyendo a las familias entre los albergues considerando su capacidad. Cabe destacar que los albergues ingresados en el input pueden corresponder a aquellos filtrados por la función *filtroAlbergues* anteriormente descrita o por el algoritmo *Greedy* que será definido en la siguiente sección Propuesta de Solución 3.7.3.
11. La función *nuevaSolucion* recibe como input una lista de listas de números enteros que representa una solución, una lista de objetos de tipo Albergue y dos listas de objetos de tipo Familia, una contiene todas las familias por albergar y la otra aquellas familias que no lograron ser albergadas en la solución entrante. Se retorna una lista de listas de números enteros que representa una nueva solución, una lista de objetos de tipo Familia que contiene aquellas familias que no han logrado ser albergadas por la nueva solución y una lista de listas de números enteros (detallada en la tercera estructura de datos en Propuesta de Solución 3.5) que indica el movimiento utilizado. El objetivo de esta función es generar una nueva solución a través de distintos movimientos utilizados por el algoritmo *Simulated Annealing* sobre la solución entrante. Este algoritmo y los movimientos utilizados serán detallados en la siguiente sección Propuesta de Solución 3.7.4.
12. La función *funcionEvaluadora1* recibe una matriz de constantes de punto flotante que contiene los valores de los factores de afinidad y una lista de listas de números enteros que representa una solución inicial, retorna una constante de punto flotante. El objetivo de esta función es calcular el valor objetivo correspondiente a la solución inicial entrante.

13. La función *funcionEvaluadora2* recibe una matriz de constantes de punto flotante que contiene los valores de los factores de afinidad, una lista de listas de números enteros que indica el movimiento utilizado para generar una nueva solución y una constante de punto flotante correspondiente al valor de la función objetivo de la solución base, retorna una constante de punto flotante. El objetivo de esta función es calcular el valor objetivo correspondiente a la nueva solución generada a través de un movimiento, evitando rehacer la evaluación realizada por la función *funcionEvaluadora1*, al añadir al valor objetivo entrante el costo del movimiento mencionado.
14. La función *alberguesActualizados* recibe una lista de objetos de tipo Albergue, retorna el valor *None*. El objetivo de esta función es actualizar el archivo *.txt* de albergues de acuerdo con la solución final encontrada.
15. La función *familiasActualizadas* recibe una lista de objetos de tipo Familia, retorna el valor *None*. El objetivo de esta función es actualizar el archivo *.txt* de familias de acuerdo con la solución final encontrada.
16. La función *familiaEmergencia* recibe una lista de objetos de tipo Familia, una lista de objetos de tipo Emergencia y dos listas de objetos de tipo Albergue, una contiene todos los albergues y otra solo aquellos disponibles para albergar, retorna una lista de objetos de tipo Familia y una lista de objetos de tipo Albergue. El objetivo de esta función es actualizar los atributos de las familias y albergues en caso de que una emergencia afecte a un albergue en donde ya han sido asignados civiles.

3.7.3 ALGORITMO GREEDY

Este algoritmo será el encargado de construir soluciones iniciales escogiendo aquellos albergues más adecuados para albergar a las familias.

Para el desarrollo de este algoritmo la **Función Miope** estará definida por la elección del albergue con menor distancia promedio respecto a las emergencias, entre los albergues disponibles.

A continuación, se presenta a través de la Figura 9 el diagrama de flujo del algoritmo y su pseudocódigo en la Figura 10.

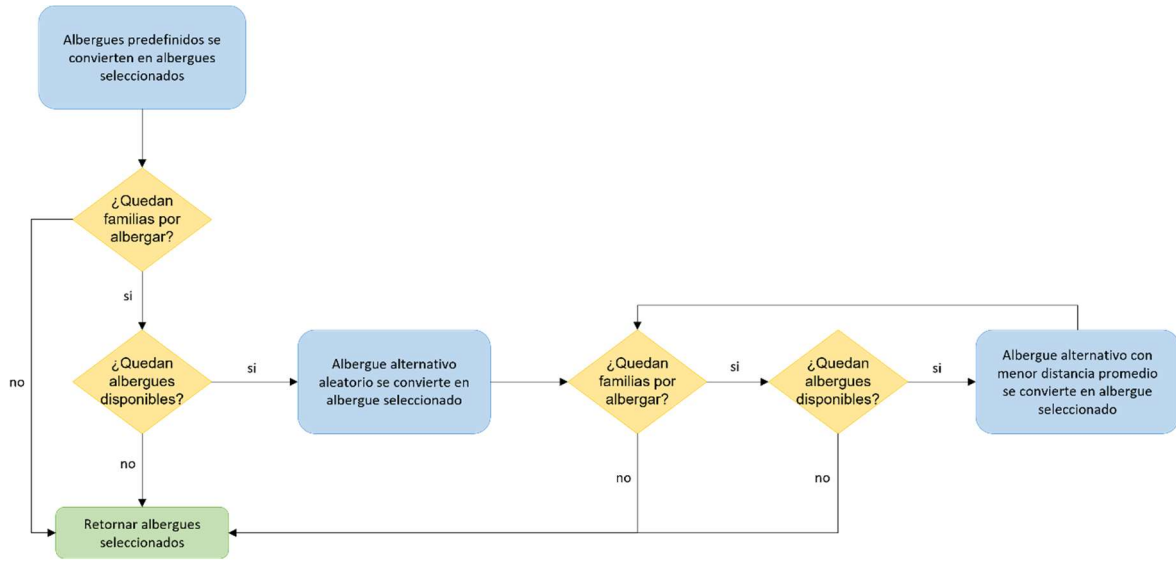


Figura 9: Diagrama de Flujo Algoritmo Greedy.

Fuente: Elaboración Propia.

Algorithm 1: Pseudocódigo Algoritmo Greedy implementado.

```

input: albergues, familias.
output: alberguesSelect.
inicialización;
alberguesAux ← albergues;
cantFamilias ← 0;
for familia in familias do
    if (familia.albergue_asociado == 0) then
        cantFamilias ← cantFamilias + 1;
    end
end
for albergue in alberguesAux do
    if (albergue.predefinido) then
        alberguesSelect ← insert(albergue);
        cantFamilias ← cantFamilias - albergue.capacidad;
        albergues ← remove(albergue);
    end
end
if (cantFamilias > 0 and len(albergues) > 0) then
    randomNumberAlb ← random(0, len(albergues));
    alberguesSelect ← insert(albergues[randomNumberAlb]);
    cantFamilias ← cantFamilias - albergues[randomNumberAlb].capacidad;
    albergues ← remove(albergues[randomNumberAlb]);
end
while (cantFamilias > 0 and len(albergues) > 0) do
    select ← menorAlbergue(albergues);
    alberguesSelect ← insert(select);
    cantFamilias ← cantFamilias - select.capacidad;
    albergues ← remove(select);
end
return alberguesSelect;
    
```

Figura 10: Pseudocódigo Algoritmo Greedy.

Fuente: Elaboración Propia.

3.7.4 ALGORITMO SIMULATED ANNEALING

Este algoritmo será el encargado de generar la solución final de distribución de familias a través de la exploración y explotación del espacio de búsqueda del problema.

Para el desarrollo de este algoritmo se considerará:

- **Función Evaluadora:** Maximizar el valor total de factores de afinidad de una solución.
- **Movimiento:** Se definirán tres tipos de movimientos a realizar por el algoritmo,
 - Intercambio entre una familia albergada y una familia que aún no ha sido albergada.
 - Intercambio entre dos familias albergadas de diferentes albergues.
 - Traspaso de una familia albergada a otro albergue distinto.
- La temperatura disminuirá a razón de 1 respecto a las iteraciones.

A continuación, se presenta a través de la Figura 11 el diagrama de flujo del algoritmo y su pseudocódigo en la Figura 12.

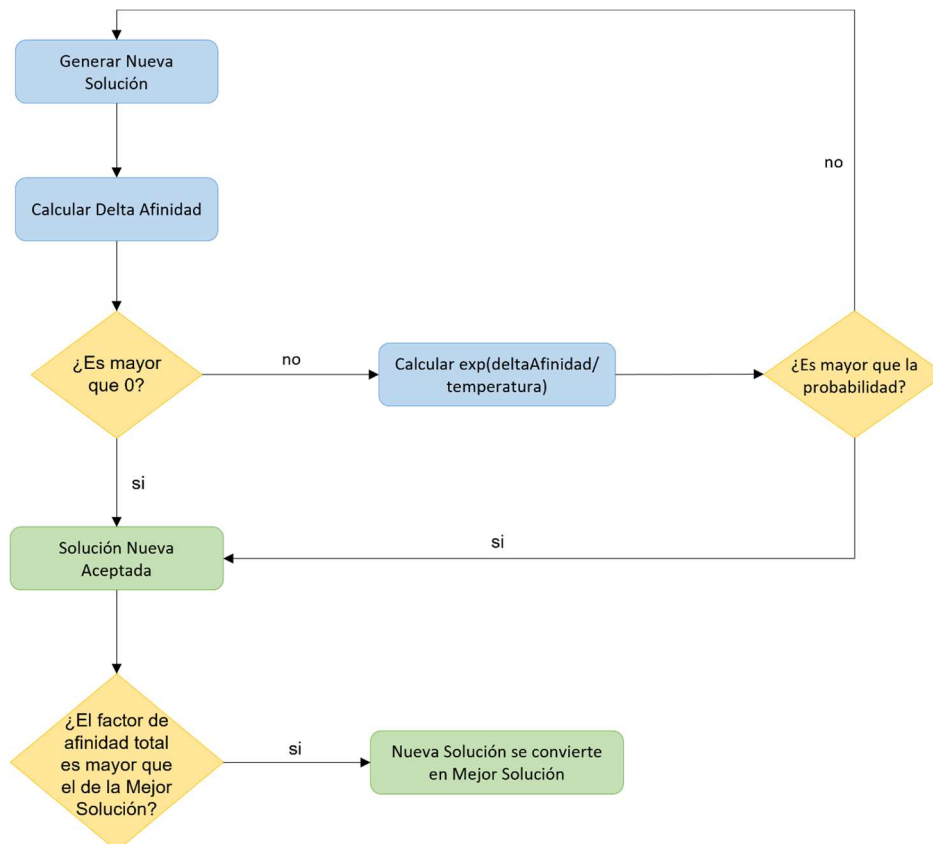


Figura 11: Diagrama de Flujo Algoritmo *Simulated Annealing*.

Fuente: Elaboración Propia.

Algorithm 2: Pseudocódigo Algoritmo Simulated Annealing implementado.

```

input: albergues, familias, emergencias, iteraciones, temperatura, restarts, greed.
output: mejorSolucion.
inicialización;
alberguesDisp ← filtroAlbergues(albergues, True);
coeficientes ← matrizCoeficientes(albergues, emergencias, familias);
mejorCobertura ← 0;
for restart do
  if (greed) then
    | solActual, familiasNoAlb ← solucionInicial(greedy(alberguesDisp, familias),
    | familias);
  else
    | solActual, familiasNoAlb ← solucionInicial(alberguesDisp, familias);
  end
  afinidadLocal ← funcionEvaluadora1(coeficientes, solActual);
  temp ← temperatura;
  if (afinidadLocal > mejorAfinidad) then
    | mejorAfinidad ← afinidadLocal;
    | mejorSolucion ← solActual;
  end
  for iteraciones do
    | probabilidad ← random(0,1);
    | solNueva, familiasNoAlbNueva, movimiento ← nuevaSolucion(solActual,
    | alberguesDisp, familias, familiasNoAlb);
    | nuevaAfinidad ← funcionEvaluadora2(coeficientes, cambioNuevo, afinidadLocal);
    | deltaAfinidad ← nuevaAfinidad-afinidadLocal;
    if (deltaAfinidad > 0) then
      | afinidadLocal ← nuevaAfinidad;
      | solActual ← solNueva;
      | familiasNoAlb ← familiasNoAlbNueva;
      if (afinidadLocal > mejorAfinidad) then
        | mejorAfinidad ← afinidadLocal;
        | mejorSolucion ← solActual;
      end
    else
      if (temp > 0 and  $e^{\frac{\text{deltaAfinidad}}{\text{temp}}} > \text{probabilidad}$ ) then
        | afinidadLocal ← nuevaAfinidad;
        | solActual ← solNueva;
        | familiasNoAlb ← familiasNoAlbNueva;
        if (afinidadLocal > mejorAfinidad) then
          | mejorAfinidad ← afinidadLocal;
          | mejorSolucion ← solActual;
        end
      end
    end
  end
  if (temp > 0) then
    | temp ← temp - 1;
  end
end
return mejorSolucion;

```

Figura 12: Pseudocódigo Algoritmo *Simulated Annealing*.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 4

VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Para demostrar que la solución propuesta anteriormente es válida, se presentarán diversos casos de prueba y sus respectivos resultados, analizando las distribuciones obtenidas de acuerdo con distintos factores. Cabe destacar que no existen registros de casos reales a utilizar, ya que durante las últimas décadas en San Antonio las catástrofes ocurridas no han tenido un impacto considerable sobre la población, es por estos que las instancias que se presentarán durante este capítulo serán ficticias, lo que permitirá demostrar que el algoritmo puede ser utilizado de manera preventiva.

Las pruebas realizadas sobre el algoritmo fueron realizadas en un computador con procesador *Intel Core i5-10600KF* 4.10 GHz y 16 GB de memoria RAM.

4.1 CASOS DE PRUEBA

Para cada uno de los casos de prueba se considerarán los trece albergues presentados en el capítulo anterior, los cuales estarán representados por los identificadores visualizados en la Tabla 4 y cuyos parámetros son descritos en la Tabla 5.

Tabla 4: Identificadores de albergue.

Fuente: Elaboración Propia.

ID	Albergue
1	Escuela Villa Las Dunas
2	Escuela España
3	Escuela Padre André Coindre
4	Escuela Poeta Pablo Neruda
5	Escuela Movilizadores Portuarios
6	Escuela Cristo del Maipo
7	Escuela Cerro Placilla
8	Gimnasio José Rojas Zamora
9	Iglesia Evangélica Pentecostal LloLleo
10	Iglesia Pentecostal
11	Capilla María Estrella de Mar
12	Iglesia Metodista Pentecostal de Chile
13	Iglesia Ejercito Evangélico de Chile

Tabla 5: Parámetros de Albergues.
Fuente: Elaboración Propia.

ID	Latitud	Longitud	Predefinido	Capacidad	Apto Discapacitados	Zona Recreativa	Zona Mascotas	Centro Médico
1	-33.6029	-71.6098	SI	20	SI	SI	SI	SI
2	-33.6177	-71.6073	SI	30	SI	SI	SI	NO
3	-33.5716	-71.6059	SI	38	SI	SI	SI	SI
4	-33.5759	-71.6122	NO	18	SI	SI	NO	SI
5	-33.5907	-71.6002	NO	28	SI	SI	SI	NO
6	-33.6091	-71.6002	NO	16	SI	SI	SI	SI
7	-33.5812	-71.6012	NO	14	SI	SI	NO	SI
8	-33.5897	-71.6051	NO	10	SI	SI	NO	SI
9	-33.6149	-71.6063	NO	8	SI	NO	SI	NO
10	-33.6124	-71.6017	NO	6	NO	NO	SI	SI
11	-33.5936	-71.6017	NO	6	NO	NO	SI	NO
12	-33.6130	-71.5962	NO	6	NO	NO	SI	SI
13	-33.5725	-71.6005	NO	6	NO	NO	SI	NO

Adicionalmente, se considerarán dos tipos de emergencias a utilizar durante los casos de prueba, cuyos parámetros son descritos en la Tabla 6.

Tabla 6: Parámetros de Emergencias.
Fuente: Elaboración Propia.

ID	Latitud	Longitud	Radio (km)
1	-33.57518	-71.62102	1.5
2	-33.60192	-71.59917	1.0

Se presenta en la Figura 13, las posiciones geográficas de los albergues y emergencias anteriormente definidas, con el fin de comprender visualmente las zonas afectadas por dichas emergencias y detectar aquellos albergues que se encuentran disponibles para recibir civiles. Para facilitar la comprensión del escrito los albergues y emergencias serán nombrados por su ID, es decir, Albergue 1 corresponderá al albergue de ID: 1 (Escuela Villa Las Dunas), de la misma forma Emergencia 1 corresponderá a la emergencia de ID: 1.

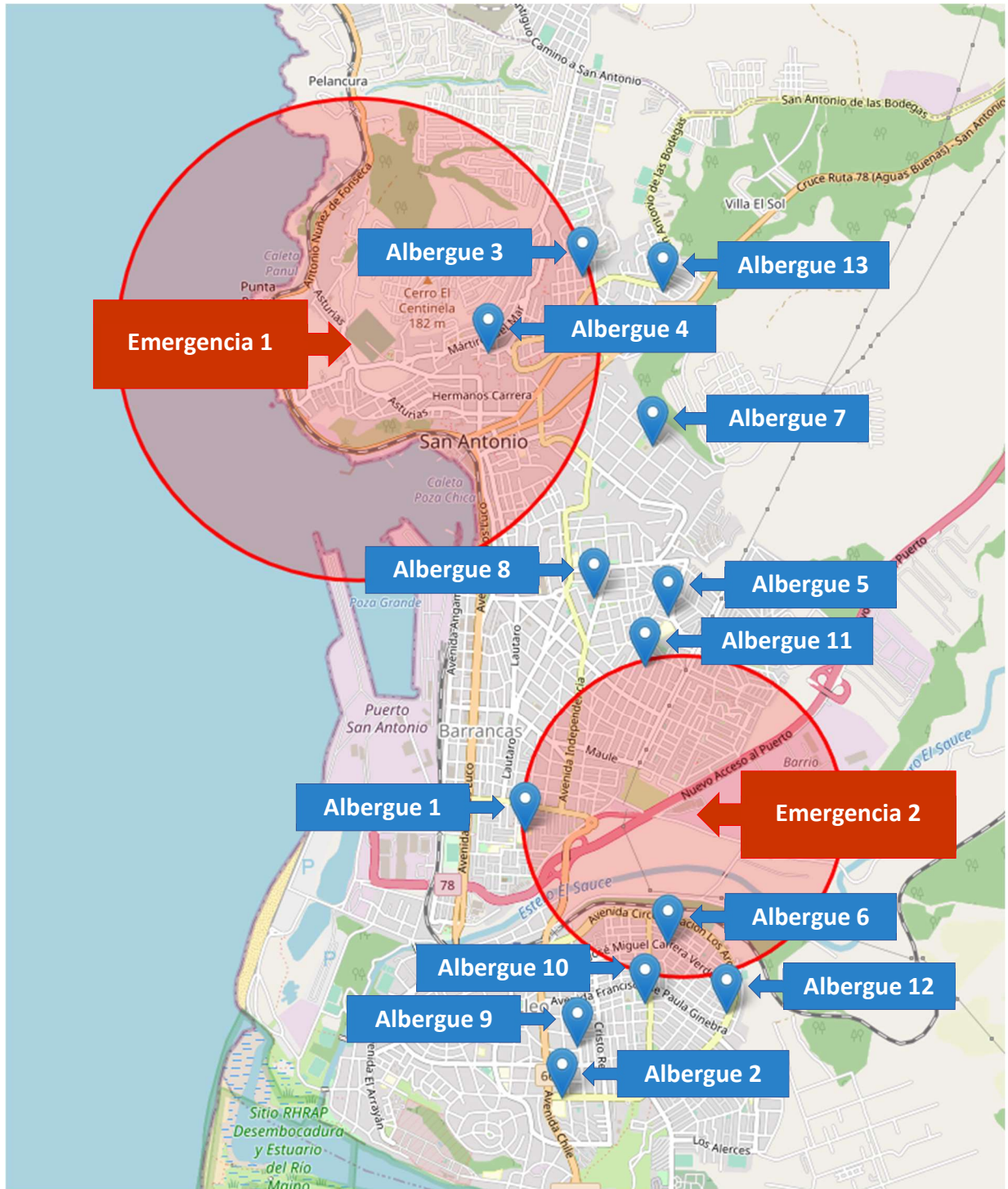


Figura 13: Posición Geográfica Albergues y Emergencias.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.1 CASO 1

El primer caso por resolver corresponderá al tipo de variante estática del problema, en donde 55 familias afectadas por la Emergencia 1, deberán ser asignadas a los albergues adecuados sin haber ningún tipo de distribución realizada con anterioridad. El resumen de los parámetros de las familias se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7: Resumen Parámetros de Familias Caso 1.

Fuente: Elaboración Propia.

Familias Afectadas	Cantidad
Con Discapacitados	23
Con Niños	29
Con Mascotas	24
Con Adulto Mayor o Enfermedad	26

Emergencia	Familias Afectadas
1	55
2	0

4.1.2 CASO 2

El segundo caso por resolver corresponderá al tipo de variante estática del problema, en donde 50 familias afectadas por la Emergencia 1 y 50 familias afectadas por la Emergencia 2, deberán ser asignadas a los albergues adecuados sin haber ningún tipo de distribución realizada con anterioridad. El resumen de los parámetros de las familias se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8: Resumen Parámetros de Familias Caso 2.

Fuente: Elaboración Propia.

Familias Afectadas	Cantidad
Con Discapacitados	51
Con Niños	43
Con Mascotas	51
Con Adulto Mayor o Enfermedad	42

Emergencia	Familias Afectadas
1	50
2	50

4.1.3 CASO 3

El tercer caso por resolver corresponderá al tipo de variante dinámica del problema, en donde se considerará la solución del Caso 1 como el estado inicial de la instancia. Esta consistirá en añadir 20 nuevas familias que se verán afectadas por la misma emergencia del caso base (Emergencia 1). El resumen de los parámetros de las familias se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9: Resumen Parámetros de Familias Caso 3.

Fuente: Elaboración Propia.

Familias Afectadas	Cantidad
Con Discapacitados	11
Con Niños	8
Con Mascotas	8
Con Adulto Mayor o Enfermedad	13

Emergencia	Nuevas Familias Afectadas
1	20
2	0

4.1.4 CASO 4

El cuarto caso por resolver corresponderá al tipo de variante dinámica del problema, en donde se considerará la solución del Caso 3 como el estado inicial de la instancia. Esta consistirá en añadir 50 nuevas familias que se verán afectadas por una nueva emergencia correspondiente a la Emergencia 2. Adicionalmente, las primeras 10 familias de las 50 indicadas deben ser albergadas obligatoriamente. El resumen de los parámetros de las familias se presenta en la Tabla 10.

Cabe destacar que el algoritmo debe detectar y redistribuir a las familias albergadas durante el caso base, si es que el albergue en donde fueron asignadas se encuentra dentro del radio de la nueva emergencia.

Tabla 10: Resumen Parámetros de Familias Caso 4.

Fuente: Elaboración Propia.

Familias Afectadas	Cantidad
Con Discapacitados	37
Con Niños	37
Con Mascotas	43
Con Adulto Mayor o Enfermedad	39

Emergencia	Nuevas Familias Afectadas
1	0
2	50

4.2 RESULTADOS

Cada uno de los casos descritos en la sección anterior fue ejecutado por el algoritmo tres veces, con el fin de comparar óptimos locales y describir el mejor resultado obtenido.

Se utilizará Algoritmo *Greedy* durante todas las ejecuciones, aun así, cabe destacar que el algoritmo permite inhabilitar su uso, de tal manera de distribuir a las familias entre todos los albergues disponibles deseados. Para el algoritmo *Simulated Annealing* se utilizó un total de 150 *restarts* y 5000 iteraciones, con una temperatura inicial de 3000°.

4.2.1 RESULTADOS CASO 1

En la Tabla 11 se describen los valores generales obtenidos en las tres ejecuciones.

Tabla 11: Ejecuciones Caso 1.
Fuente: Elaboración Propia.

Ejecución	Función Objetivo	Tiempo Ejecución [seg]	ID Albergues Seleccionados
1	47.03089	21.54	1 2 7
2	47.03089	21.73	1 2 7
3	47.03089	21.59	1 2 7

Si bien el valor de la función objetivo y los albergues seleccionados fueron los mismos en las tres pruebas, la distribución de las familias difiere entre ellas. A continuación, se presenta en detalle los resultados obtenidos de la ejecución número 3.

Tabla 12: Distribución Familias Caso 1.
Fuente: Elaboración Propia.

Familias por Albergar: 55			Familias Albergadas: 55	
Albergue	Disponible/ Seleccionado	Capacidad Inicial	Familias Albergadas	ID Familias Asignadas
1	SI/SI	20	20	8 10 11 13 16 22 24 25 32 34 35 37 38 39 41 42 44 47 48 51
2	SI/SI	30	21	1 2 6 9 12 14 15 17 18 19 21 23 26 31 36 40 45 49 50 52 53
3	NO/NO	38	0	
4	NO/NO	18	0	
5	SI/NO	28	0	

6	SI/NO	16	0	
7	SI/SI	14	14	3 4 5 7 20 27 28 29 30 33 43 46 54 55
8	SI/NO	10	0	
9	SI/NO	8	0	
10	SI/NO	6	0	
11	SI/NO	6	0	
12	SI/NO	6	0	
13	SI/NO	6	0	

Tabla 13: Resumen Parámetros Distribución Familias Caso 1.

Fuente: Elaboración Propia.

Familia por Albergar	Cantidad	Albergadas	En Albergue Apto	En Albergue no Apto	No Albergadas
Con Discapacitados	23	23	23	0	0
Con Niños	29	29	29	0	0
Con Mascotas	24	24	24	0	0
Con Adulto Mayor o Enfermedad	26	26	26	0	0

De un total de 11 albergues disponibles solo 3 fueron seleccionados para la distribución, en donde las 55 familias lograron ser albergadas, restando una capacidad total de 95 familias para posibles asignaciones futuras. Además todas las familias han sido distribuidas en albergues aptos para sus integrantes.

En la Figura 14 se muestran los factores de afinidad de cada una de las familias, obtener un valor igual o superior a 0.8 indica que esta asignada en un albergue apto para sus integrantes, el resto del factor de afinidad depende de la distancia correspondiente. En este caso aquellas familias asignadas al Albergue 2 presentan factor de afinidad de 0.8, pues coincidentemente este es albergue más alejado de la Emergencia 1 y además es predefinido, lo que implica que su uso es obligatorio siempre y cuando este disponible.

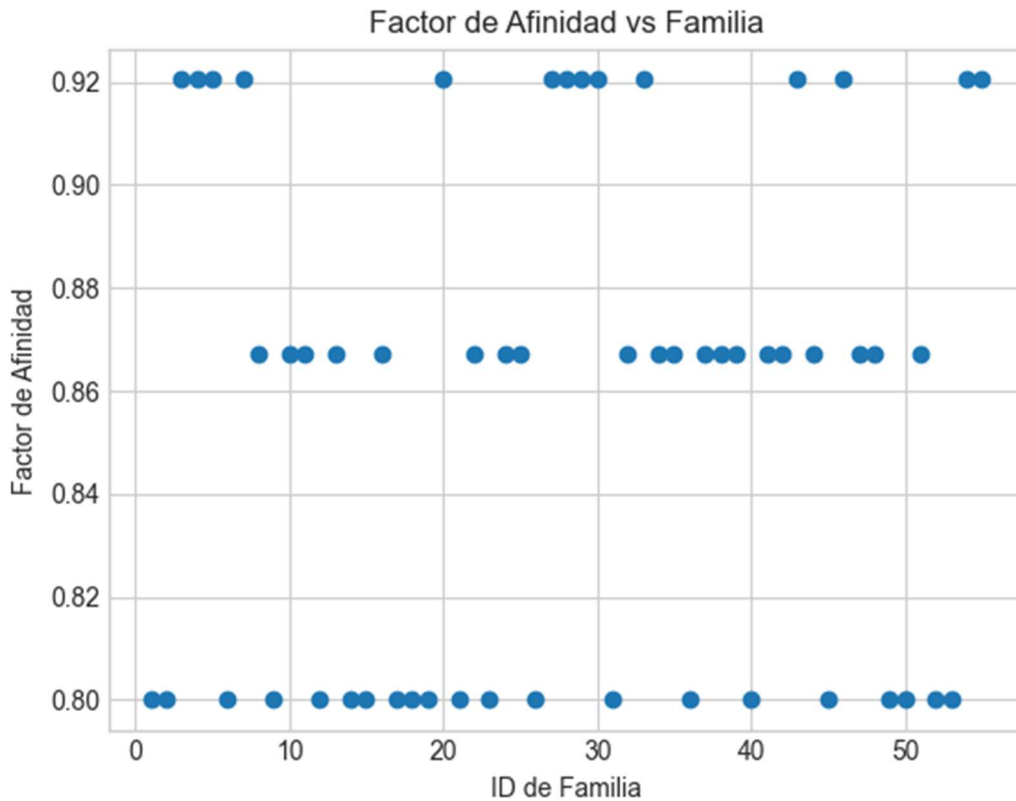


Figura 14: Factores de Afinidad de las Familias Caso 1.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2 RESULTADOS CASO 2

En la Tabla 14 se describen los valores generales obtenidos en las tres ejecuciones.

Tabla 14: Ejecuciones Caso 2.
Fuente: Elaboración Propia.

Ejecución	Función Objetivo	Tiempo Ejecución [seg]	ID Albergues Seleccionados
1	88.21835	34.43	2 5 7 8 10 12 13
2	88.23756	34.06	2 5 7 8 10 12 13
3	88.23756	34.26	2 5 7 8 10 12 13

La primera ejecución obtuvo un menor valor objetivo que las otra dos restantes, aun así, los albergues seleccionados han sido los mismos en las tres pruebas, lo que indica solo diferencias en su distribución. A continuación, se presenta en detalle los resultados obtenidos de la ejecución número 3.

Tabla 15: Distribución Familias Caso 2.

Fuente: Elaboración Propia.

Familias por Albergar: 100			Familias Albergadas: 100	
Albergue Disponible	Disponible/ Seleccionado	Capacidad Inicial	Familias Albergadas	ID Familias Asignadas
1	NO/NO	20	0	
2	SI/SI	30	30	4 7 13 17 22 23 28 32 33 34 37 39 42 50 52 53 56 66 69 70 80 82 83 85 88 93 94 96 98 99
3	NO/NO	38	0	
4	NO/NO	18	0	
5	SI/SI	28	28	1 9 12 16 20 24 27 31 45 46 47 49 55 58 59 60 63 64 67 68 71 72 73 86 92 95 97 100
6	NO/NO	16	0	
7	SI/SI	14	14	2 3 11 18 21 26 29 43 44 61 65 75 87 89
8	SI/SI	10	10	5 6 8 15 36 38 41 74 84 90
9	SI/NO	8	0	
10	SI/SI	6	6	14 35 48 54 57 81
11	NO/NO	6	0	
12	SI/SI	6	6	10 25 30 62 79 91
13	SI/SI	6	6	19 40 51 76 77 78

Tabla 16: Resumen Parámetros Distribución Familias Caso 2.

Fuente: Elaboración Propia.

Familia por Albergar	Cantidad	Albergadas	En Albergue Apto	En Albergue no Apto	No Albergadas
Con Discapacitados	51	51	51	0	0
Con Niños	43	43	43	0	0
Con Mascotas	51	51	46	5	0
Con Adulto Mayor o Enfermedad	42	42	30	12	0

De un total de 8 albergues disponibles solo 7 fueron seleccionados para la distribución, en donde las 100 familias lograron ser albergadas, restando una capacidad total de 8 familias para posibles asignaciones futuras.

En la Figura 15 se muestran los factores de afinidad de cada una de las familias, obtener un valor igual o superior a 0.8 indica que esta asignada en un albergue apto para sus integrantes, de la misma forma obtener un valor entre 0.6 y 0.8 indica que uno de los cuatro tipos de integrantes no se encuentra en un albergue apto. En este caso se visualiza que 17 de las familias se encuentran en el rango $[0.6, 0.8[$, lo que al complementar con la Tabla 16 se concluye que corresponden a 5 familias con mascotas y 12 familias con adultos mayores, enfermedades crónicas o inmunodeprimidas. Las 83 familias restantes se encuentran en un albergue apto para sus integrantes.

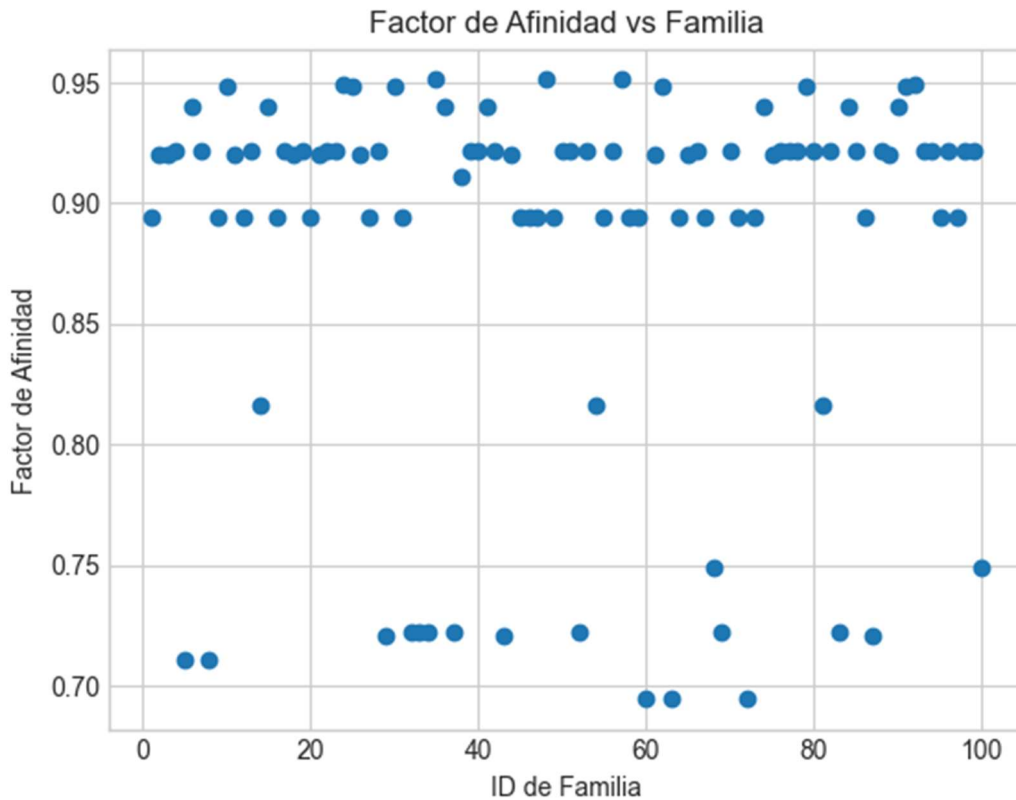


Figura 15: Factores de Afinidad de las Familias Caso 2.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3 RESULTADOS CASO 3

En la Tabla 17 se describen los valores generales obtenidos en las tres ejecuciones.

Tabla 17: Ejecuciones Caso 3.
Fuente: Elaboración Propia.

Ejecución	Función Objetivo	Tiempo Ejecución [seg]	ID Albergues Seleccionados
1	16.71561	13.55	2 8 13
2	16.71561	13.51	2 8 13
3	16.71561	13.68	2 8 13

Si bien el valor de la función objetivo y los albergues seleccionados fueron los mismos en las tres pruebas, la distribución de las familias difiere entre ellas. A continuación, se presenta en detalle los resultados obtenidos de la ejecución número 3.

Tabla 18: Distribución Familias Caso 3.
Fuente: Elaboración Propia.

Familias por Albergar: 20			Familias Albergadas: 20	
Albergue Disponible	Disponible/ Seleccionado	Capacidad Inicial	Familias Albergadas	ID Familias Asignadas
1	NO/NO	0	0	
2	SI/SI	9	5	57 62 65 66 74
3	NO/NO	38	0	
4	NO/NO	18	0	
5	SI/NO	28	0	
6	SI/NO	16	0	
7	NO/NO	0	0	
8	SI/SI	10	10	56 58 59 60 63 64 69 71 72 73
9	SI/NO	8	0	
10	SI/NO	6	0	
11	SI/NO	6	0	
12	SI/NO	6	0	
13	SI/SI	6	5	61 67 68 70 75

Tabla 19: Resumen Parámetros Distribución Familias Caso 3.
Fuente: Elaboración Propia.

Familia por Albergar	Cantidad	Albergadas	En Albergue Apto	En Albergue no Apto	No Albergadas
Con Discapacitados	11	11	11	0	0

Con Niños	8	8	8	0	0
Con Mascotas	8	8	6	2	0
Con Adulto Mayor o Enfermedad	13	13	10	3	0

De un total de 9 albergues disponibles solo 3 fueron seleccionados para la distribución, en donde las 20 familias lograron ser albergadas, restando una capacidad total de 75 familias para posibles asignaciones futuras.

En la Figura 16 se muestran los factores de afinidad de cada una de las familias, obtener un valor igual o superior a 0.8 indica que esta asignada en un albergue apto para sus integrantes, de la misma forma obtener un valor entre 0.6 y 0.8 indica que uno de los cuatro tipos de integrantes no se encuentra en un albergue apto. En este caso se visualiza que 5 de las familias se encuentran en el rango $[0.6, 0.8[$, lo que al complementar con la Tabla 19 se concluye que corresponden a 2 familias con mascotas y 3 familias con adultos mayores, enfermedades crónicas o inmunodeprimidas. Las 15 familias restantes se encuentran en un albergue apto para sus integrantes.

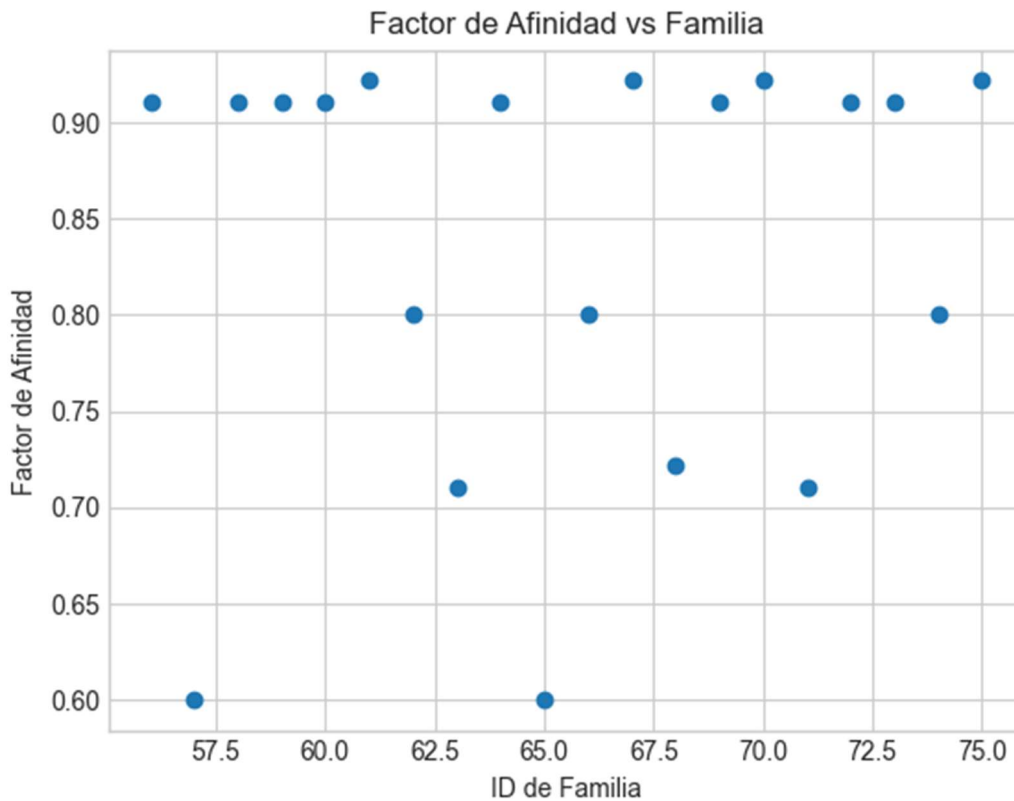


Figura 16: Factores de Afinidad de las Familias Caso 3.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4 RESULTADOS CASO 4

En la Tabla 20 se describen los valores generales obtenidos en las tres ejecuciones.

Tabla 20: Ejecuciones Caso 4.
Fuente: Elaboración Propia.

Ejecución	Función Objetivo	Tiempo Ejecución [seg]	ID Albergues Seleccionados
1	47.20315	26.28	2 5 9 10 12 13
2	47.20315	26.00	2 5 9 10 12 13
3	47.20315	26.19	2 5 9 10 12 13

Si bien el valor de la función objetivo y los albergues seleccionados fueron los mismos en las tres pruebas, la distribución de las familias difiere entre ellas. A continuación, se presenta en detalle los resultados obtenidos de la ejecución número 3.

Tabla 21: Distribución Familias Caso 4.
Fuente: Elaboración Propia.

Familias por Albergar: 70			Familias Albergadas: 53	
Albergue Disponible	Disponible/ Seleccionado	Capacidad Inicial	Familias Albergadas	ID Familias Asignadas
1	NO/NO	20	0	
2	SI/SI	4	4	24 92 105 110
3	NO/NO	38	0	
4	NO/NO	18	0	
5	SI/SI	28	28	22 41 44 76 77 78 79 81 82 85 87 88 90 93 95 96 99 100 102 104 106 108 113 118 120 123 124 125
6	NO/NO	16	0	
7	NO/NO	0	0	
8	NO/NO	0	0	
9	SI/SI	8	0	8 10 13 83 89 111 121 122
10	SI/SI	6	0	37 84 97 98 109 114
11	NO/NO	6	0	
12	SI/SI	6	6	32 34 35 38 80 112
13	SI/SI	1	1	101
ID Familias no Albergadas			11 16 25 39 42 47 48 51 86 91 94 103 107 115 116 117 119	

Tabla 22: Resumen Parámetros Distribución Familias Caso 4.

Fuente: Elaboración Propia.

Familia por Albergar	Cantidad	Albergadas	En Albergue Apto	En Albergue no Apto	No Albergadas
Con Discapacitados	37	26	26	0	11
Con Niños	37	22	19	3	15
Con Mascotas	43	30	30	0	13
Con Adulto Mayor o Enfermedad	39	22	11	11	17

De un total de 6 albergues disponibles 6 fueron seleccionados para la distribución. En este caso los Albergues 1, 6 y 11 se vieron comprometidos por la nueva Emergencia 2, por lo que aquellas familias que fueron asignadas durante los casos bases en alguno de estos albergues, deben ser redistribuidas. Se detectaron 20 familias que fueron albergadas en el Albergue 1 y ninguna en el Albergue 6 y el Albergue 11, ahora bien considerando las 50 nuevas familias se obtiene un total de 70 familias por albergar, en donde solo 53 lograron ser asignadas.

En la Figura 17 se muestran los factores de afinidad de cada una de las familias, obtener un valor igual o superior a 0.8 indica que esta asignada en un albergue apto para sus integrantes, de la misma forma obtener un valor entre 0.6 y 0.8 indica que uno de los cuatro tipos de integrantes no se encuentra en un albergue apto. En este caso se visualiza que 14 de las familias se encuentran en el rango $[0.6, 0.8[$, lo que al complementar con la Tabla 22 se concluye que corresponden a 3 familias con niños y 11 familias con adultos mayores, enfermedades crónicas o inmunodeprimidas. Las 39 familias restantes se encuentran en un albergue apto para sus integrantes. Adicionalmente se visualiza que los factores de afinidad de aquellas familias redistribuidas se encuentran en el dominio de ID de familia $[1, 75]$. Cabe destacar que las 10 familias por albergar obligatoriamente fueron asignadas, estas se encuentran en el dominio de ID de familia $[76, 85]$.

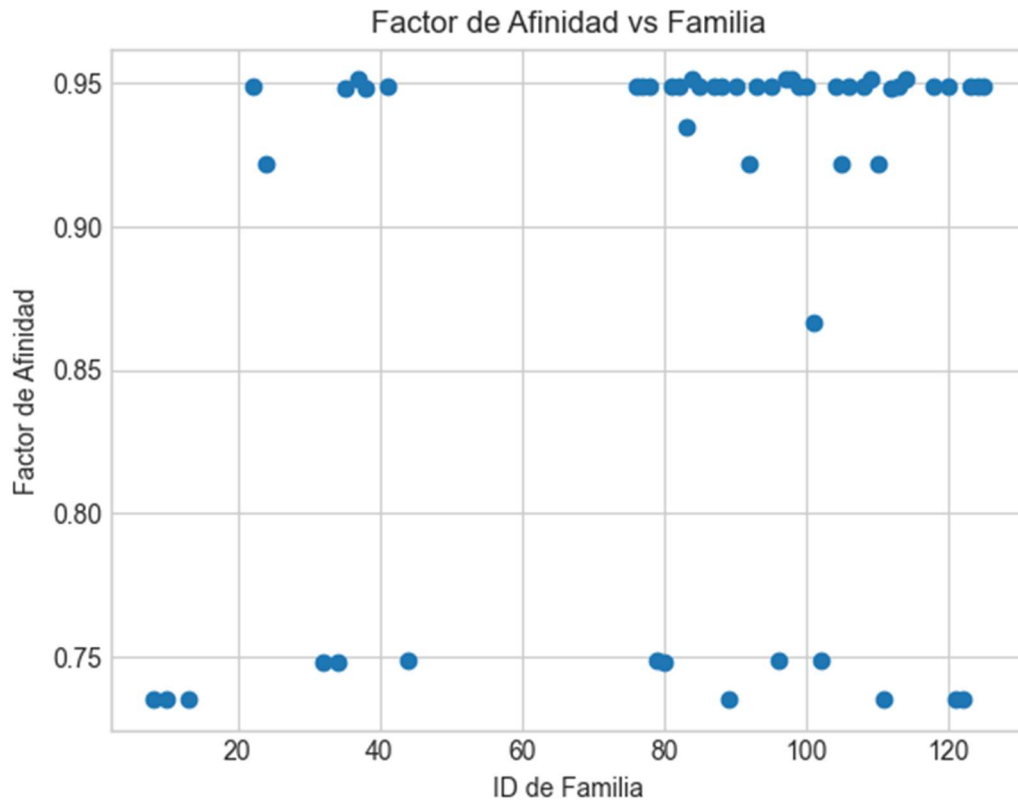


Figura 17: Factores de Afinidad de las Familias Caso 4.
Fuente: Elaboración Propia.

4.3 CALIDAD DE SOLUCIONES

Para comprobar la calidad de las soluciones, inicialmente se ejecutará un pequeño caso de ejemplo para evidenciar que las distribuciones se están realizando correctamente y que se están obteniendo resultados óptimos.

En este nuevo caso un total de 12 familias deben ser distribuidas en 3 albergues, los cuales tienen una capacidad de 4 familias cada uno. Los factores de afinidad calculados de acuerdo con los parámetros de cada una de estas se presentan en la Tabla 23, además los valores marcados en rojo destacan la distribución final obtenida.

Tabla 23: Factores de Afinidad para 12 familias.
Fuente: Elaboración Propia.

	Albergue 1	Albergue 2	Albergue 3
Familia 1	0.9	0.85	0.8
Familia 2	0.9	0.65	0.6

Familia 3	0.9	0.85	0.6
Familia 4	0.9	0.65	0.4
Familia 5	0.9	0.85	0.6
Familia 6	0.9	0.65	0.4
Familia 7	0.9	0.85	0.4
Familia 8	0.9	0.65	0.2
Familia 9	0.9	0.65	0.8
Familia 10	0.9	0.45	0.6
Familia 11	0.9	0.65	0.6
Familia 12	0.9	0.45	0.4

El valor obtenido de la función objetivo para esta distribución es de 9.6, lo que coincide con uno de los óptimos globales del problema, que fue calculado a través de la herramienta *LPSolve*¹⁰.

Si bien un caso simple como el anterior demuestra que el algoritmo está funcionando de la manera correcta, no es suficiente para comprobar que en problemas reales como los planteados en la sección anterior, la solución obtenida sea un buen óptimo local o con suerte uno de los óptimos globales. Por esta razón es que se someterá repetidas veces el algoritmo a tres instancias distintas del problema, con el fin de comparar los resultados y comprobar que la solución obtenida sea al menos un buen óptimo local. Cada instancia será ejecutada 30 veces, pero por cada 10 se modificará el parámetro de iteraciones y temperatura del algoritmo *Simulated Annealing*, pues al aumentar el número de familias la cantidad de movimientos posibles realizados también aumenta, por lo que añadir más iteraciones puede ser un factor fundamental para encontrar resultados satisfactorios. En la Tabla 24 se presentan las iteraciones y temperaturas correspondientes a cada ejecución.

Tabla 24: Iteraciones y Temperatura por Ejecución.

Fuente: Elaboración Propia.

Ejecuciones	Iteraciones	Temperaturas
1 - 10	1000	600°
11 - 20	3000	1800°
21 - 30	5000	3000°

La primera instancia en donde se distribuyen 80 familias entre los albergues descritos en esta memoria y cuyos resultados se muestran en la Figura 18, demostró que al ejecutar el algoritmo con 5000 iteraciones y 3000° de temperatura, la mejor solución obtenida fue la misma en 7 de las 10 pruebas, a diferencia de las ejecuciones con 1000 y 3000 iteraciones. Al someter este mismo problema en la herramienta *LPSolve* se obtuvo un valor óptimo de 68.88 que corresponde al resultado al cual convergió el algoritmo con 5000 iteraciones.

¹⁰ Entorno integrado de desarrollo utilizado para solucionar problemas de programación lineal.

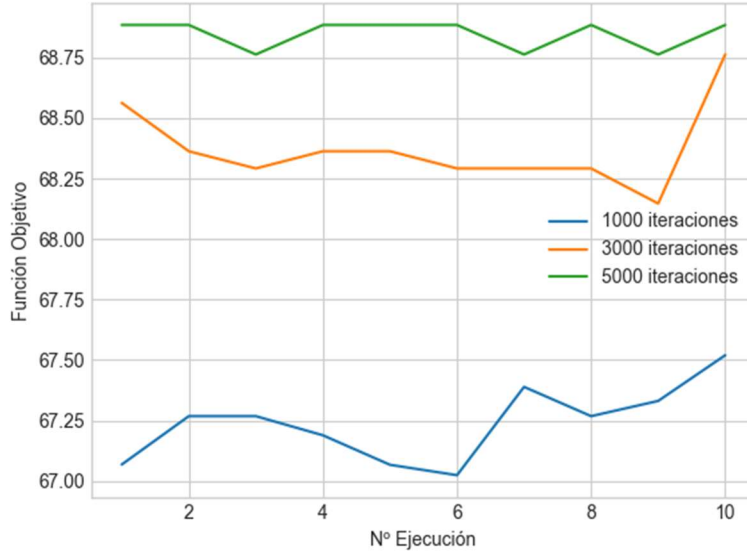


Figura 18: Valores Función Objetivo por Ejecución, para distribución de 80 Familias.
Fuente: Elaboración Propia.

La segunda instancia en donde se distribuyen 100 familias y cuyos resultados se muestran en la Figura 19, demostró que al ejecutar el algoritmo con 5000 iteraciones y 3000° de temperatura, la mejor solución obtenida fue la misma en 9 de las 10 pruebas, a diferencia de las ejecuciones con 1000 y 3000 iteraciones. Al someter este mismo problema en la herramienta *LPSolve* se obtuvo un valor óptimo de 87.92 a diferencia del algoritmo en donde el resultado convergió a 87.73 con 5000 iteraciones.

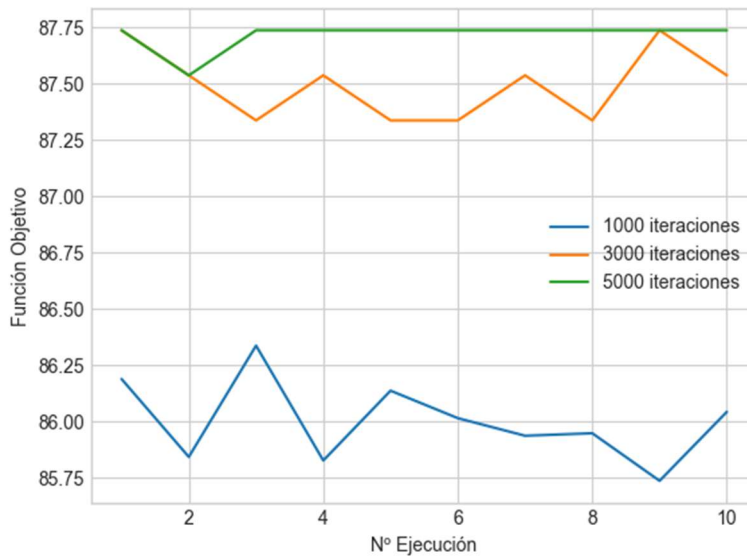


Figura 19: Valores Función Objetivo por Ejecución, para distribución de 100 Familias.
Fuente: Elaboración Propia.

La tercera instancia en donde se distribuyen 150 familias y cuyos resultados se muestran en la Figura 20, demostró que al ejecutar el algoritmo con 5000 iteraciones y 3000 ° de temperatura, la mejor solución obtenida fue la misma en 8 de las 10 pruebas, a diferencia de las ejecuciones con 1000 y 3000 iteraciones. Al someter este mismo problema en la herramienta *LPSolve* se obtuvo un valor óptimo de 127.26 a diferencia del algoritmo en donde el resultado convergió a 126.48 con 5000 iteraciones.

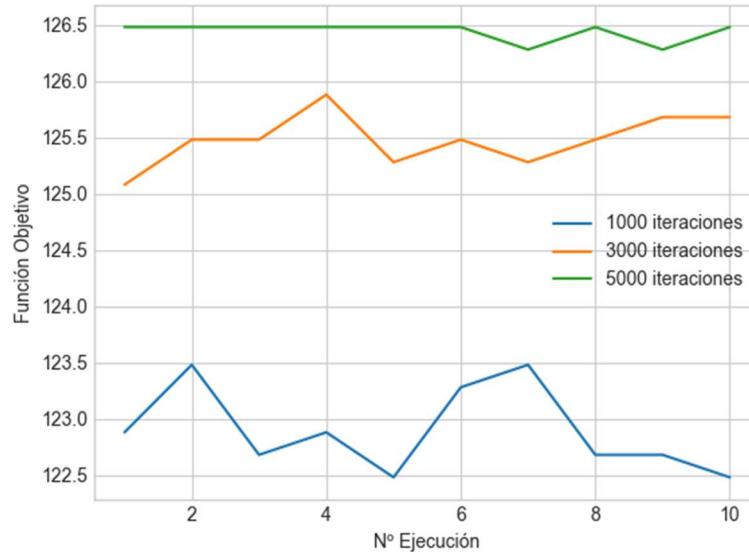


Figura 20: Valores Función Objetivo por Ejecución, para distribución de 150 Familias.
Fuente: Elaboración Propia.

Se ha observado que en las tres instancias al utilizar 5000 iteraciones con 3000° de temperatura, el algoritmo tiende a obtener soluciones con valores objetivos iguales. Adicionalmente, en unos de los tres casos se logró obtener un óptimo global del problema, el cual corresponde a la distribución de menor cantidad de familias, por otro lado, en los otros dos casos los resultados obtenidos se vieron atrapados en óptimos locales, aun así, los valores calculados son bastante cercanos al de los óptimos globales, pudiendo así ser consideradas soluciones satisfactorias. Además, por las tendencias observadas sobre las iteraciones, se demuestra que, aumentar significativamente el número de familias debe ir acompañado de un aumento en el número de iteraciones y de la temperatura para lograr obtener el óptimo global o al menos un buen óptimo local.

4.4 TIEMPOS DE EJECUCIÓN

Para estudiar el comportamiento de los tiempos de ejecución del algoritmo, este se someterá a diversas instancias que variarán tanto en la cantidad de familias a distribuir

como en la cantidad de albergues disponibles. Las instancias corresponderán a todas las combinaciones entre:

- Cantidad de Albergues Disponibles: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24.
- Cantidad de Familias por Albergar: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400.

En la Figura 21 se presentan los tiempos de ejecución obtenidos.

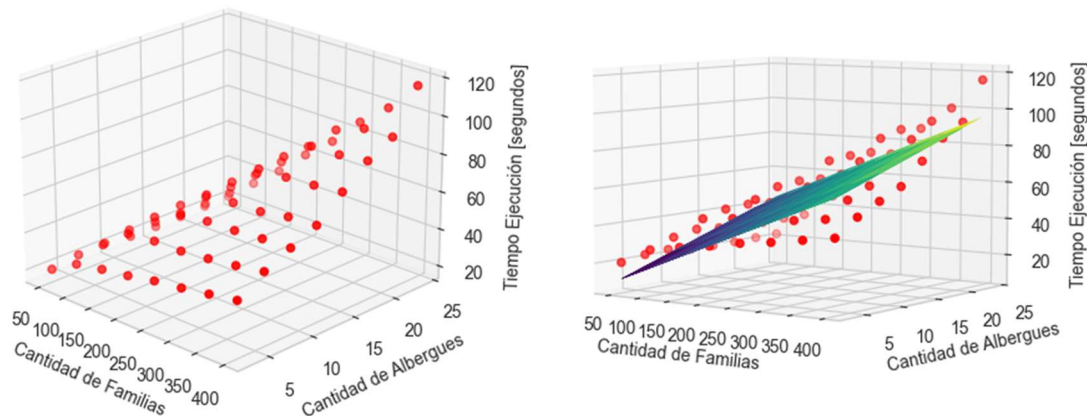


Figura 21: Tiempos de Ejecución según cantidad de Familias y Albergues.

Fuente: Elaboración Propia.

De los resultados anteriores se puede observar que los tiempos de ejecución parecen converger al aumentar la cantidad de familias, por el contrario, al aumentar la cantidad de albergues los tiempos de ejecución incrementan considerablemente. Al realizar una regresión multivariable de los valores obtenidos se obtuvo el plano definido por:

$$\text{Tiempo Ejecución} = 0.148611 \cdot N^{\circ} \text{ Familias} + 1.544484 \cdot N^{\circ} \text{ Albergues} - 0.757946$$

Si bien en las últimas ejecuciones los tiempos parecieren dar paso a un comportamiento exponencial, estudiar más allá de la cantidad de familias y albergues planteados escapa de la realidad actual de San Antonio. De esta manera, las ejecuciones en un evento real no deberían tardar más allá de dos minutos, aun así, no se debe descartar que estos tiempos pueden variar de acuerdo con los parámetros de las familias o por la capacidad de los albergues, aunque no deberían tener un gran impacto final.

Cabe destacar que en el caso de prueba utilizado se mantuvo el número de iteraciones constante, debido a esto y de acuerdo con los resultados obtenidos en la sección anterior, se puede indicar que para aumentar la cantidad de familias es necesario incrementar

también la cantidad de iteraciones para lograr una buena distribución, esto provoca que los tiempos de ejecución aumenten aún más por este factor en comparación con lo reflejado a través del plano definido anteriormente. En la Figura 22 se puede observar los tiempos de ejecución obtenidos al variar el número de iteraciones y temperatura para una misma instancia del problema.

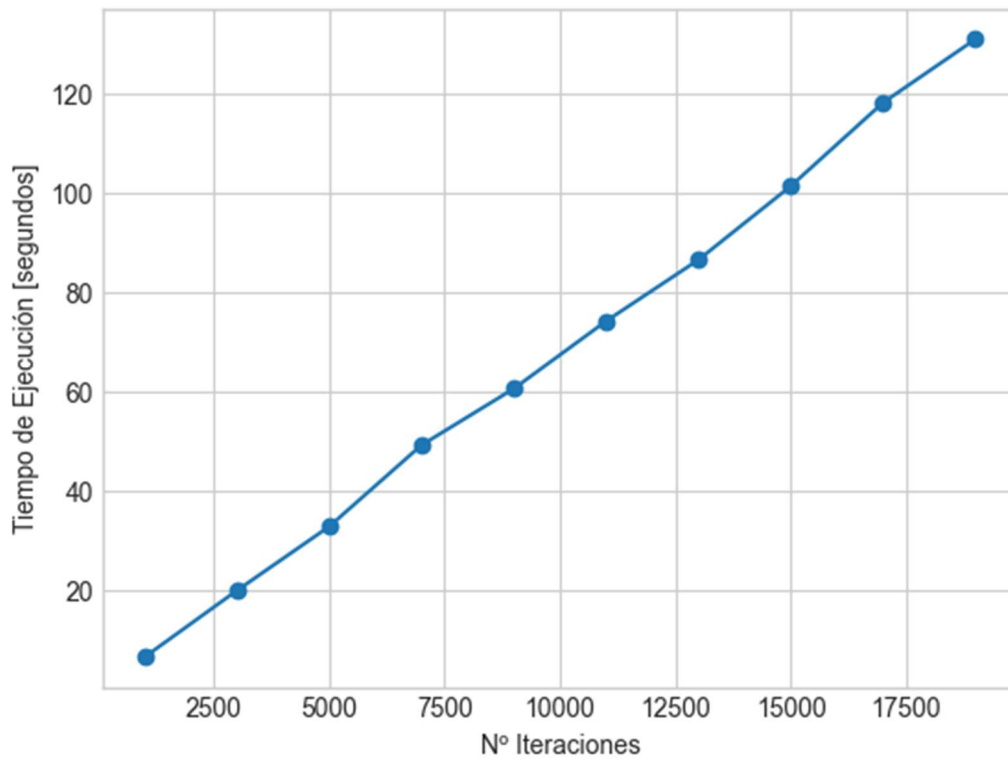


Figura 22: Tiempos de Ejecución para Distribución de 100 Familias.
Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Poseer un sistema de prevención que permita planificar la distribución de civiles a albergues ante algún tipo de emergencia, es de vital importancia para cualquier municipio que vele por la protección y el bienestar de sus ciudadanos. El algoritmo planteado durante esta memoria ha demostrado encontrar rápidamente soluciones de calidad para este problema, logrando asignar a la mayoría de las familias en albergues adecuados y permitiendo por consecuencia utilizar los recursos disponibles de manera óptima.

El modelo matemático desarrollado ha permitido representar la problemática planteada de manera territorialmente generalizada, es decir, no solo está limitado al contexto territorial definido para esta memoria (San Antonio), sino que puede ser utilizado en cualquier lugar en que se desee realizar este tipo de distribución.

Para el desarrollo del algoritmo se propusieron diez albergues alternativos correspondientes a instituciones estatales de la comuna de San Antonio, entre las que se encuentran cuatro escuelas municipales, un gimnasio municipal y cinco establecimientos religiosos. Estos han demostrado estar lo suficientemente distribuidos como para cubrir gran parte de la comuna.

Se utilizaron dos técnicas de inteligencia artificial en la solución propuesta, el algoritmo *Greedy*, de fácil implementación y que permitió seleccionar aquellos albergues alternativos en los que se realizaría la distribución de las familias en los casos que fuera necesario, y el algoritmo *Simulated Annealing*, que resulto ser más complejo de implementar y que permitió encontrar la distribución final de las familias.

El criterio utilizado por la función *Miope* del algoritmo *Greedy*, el cual consiste en seleccionar el albergue con menor distancia promedio con las emergencias, siempre y cuando se encuentren fuera del radio de alcance, ha demostrado ciertas limitaciones ya que en ocasiones el conjunto de albergues resultantes no era el más adecuado para la distribución, esto debido a la falta de asimilación de los parámetros de las familias que suelen ser muy variables entre un caso y otro.

En cuanto al algoritmo *Simulated Annealing* implementado, este suele entregar soluciones satisfactorias, asignando en albergues aptos a la mayoría de las familias de acuerdo con los tipos de integrantes que las conforman, esto siempre y cuando los parámetros de iteración y temperatura sean correctamente establecidos; aun así, que estas soluciones sean de buena calidad, no quiere decir que sean las mejores, esto a causa de la naturaleza del algoritmo el cual no tiene la manera de identificar si está estancado en un óptimo local o logro encontrar el óptimo global del problema, además de la considerable dependencia de la solución inicial con la que comienza a iterar.

Para validar el algoritmo propuesto y demostrar que este puede ser utilizado de manera preventiva como se comentó durante el Capítulo 4, este se sometió a instancias ficticias del problema, ya que durante las últimas décadas en la comuna de San Antonio las catástrofes ocurridas no han tenido un impacto considerable sobre la población. Dichas instancias permitieron evaluar tanto la variable estática como la variable dinámica del problema, modificando la cantidad de albergues disponibles y de emergencias ocurridas; y la cantidad y parámetros de familias afectadas por dichas emergencias. De estas pruebas se logró obtener resultados satisfactorios en un tiempo considerablemente bajo, además se detectó que al utilizar un mayor número de iteraciones durante la ejecución del algoritmo *Simulated Annealing*, el valor de función objetivo de la solución final tendió a converger a un valor específico.

TRABAJO A FUTURO

El principal punto a destacar para un posible desarrollo futuro, es la implementación de un sistema integrado en donde se pueda desenvolver el algoritmo, en el cual los datos almacenados actualmente en archivos *.txt* y que poseen una estructura acorde a entidades de un modelado de datos, puedan ser rescatados y utilizados desde una base de datos. Adicionalmente, la creación de interfaces de usuarios que permitan:

1. Almacenar los parámetros de las familias, albergues y emergencias a través de formularios.
2. Visualizar los resultados de la distribución final obtenida desde el algoritmo.
3. Visualizar un mapa interactivo con información sobre la distribución que el usuario desee.
4. Almacenar resultados de distribuciones realizadas anteriormente.

Además, de acuerdo con los comentarios realizados por el Sr. Marcos Torrejón, encargado Provincial de Emergencias, gestionar la posible unión de la herramienta con uno de los sistemas de emergencia utilizados a nivel nacional.

Otro punto para destacar es la posible modificación del algoritmo, de tal manera de flexibilizar la cantidad de parámetros utilizados por el factor de afinidad como también su ponderación establecida, permitiendo al usuario el aumento o disminución de estos factores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Brassard, 1997] Brassard, Gilles; Bratley, Paul. (1997). *Algoritmos voraces*. Fundamentos de Algoritmia, **1**, 211-246.

[DAEM, 2021] Departamento de Administración de Educación Municipal IMSA. (2021). *Ficha de Coordinadas de Emergencia/Catástrofe*.

[ESCING, 2020] Escuela de Ingenieros Militares. (2020). *Plan de gestión de riesgos de desastres KELLUN*.

[IMSA, 2020] Ilustre Municipalidad de San Antonio. (2020). *Plan comunal de emergencia comuna de San Antonio*.

[INE, 2017] Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). *Resultados de Comunas*. Recuperado de: <http://www.censo2017.cl/descargue-aqui-resultados-de-comunas/>

[Khayatkhooshnevis, 2019] Khayatkhooshnevis, Pedram; Choudhury, Salimur; Mago, Vijay; Latimer, Eric. (2019). *Improving Homeless-to-Shelter Assignment Using Offline Greedy and Local Search Heuristics*.

[Kirkpatrick, 1983] Kirkpatrick, S.; Gelatt, C. D.; Vecchi, M. P. (1983). *Optimization by Simulated Annealing*. Science, **220**, 671-680.

[Laarhoven, 1987] Peter J. M. Laarhoven; Emile H. L. Aarts. (1987). *Simulated Annealing: Theory and Applications*. Mathematics and Its Applications, **37**.

[ONEMI, 2020] Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior. (2020). *Guía para la administración de albergues municipales*.

[Panchalee, 2021] Panchalee Praneetpholkrang, Van Nam Huynh, Sarunya Kanjanawattana. (2021). *A multi-objective optimization model for shelter location-allocation in response to humanitarian relief logistics*. The Asian Journal of Shipping and Logistics, **37**, 149-156.

[PCEIMSA, 2021] Protección Civil y Emergencias IMSA. (2021). *Albergues Municipales IMSA*.

[Tanaka, 2021] Tanaka, T.; Matsuda, Y.; Fujimoto, M.; Suwa, H.; Yasumoto, K. (2021). *Evacuation Shelter Decision Method Considering Non-Cooperative Evacuee Behavior to Support the Disaster Weak*. Sustainability, **13**, 5016.

[VCP, 2021] Visor Chile Preparado ONEMI. (2020). *Territorio y Amenazas*. Recuperado de: <https://geoportalonemi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5062b40cc3e347c8b11fd8b20a639a88>

ANEXOS

INTERFAZ GRÁFICA

Para lograr visualizar de manera sencilla la información obtenida de la distribución realizada por el algoritmo, se desarrolló una interfaz gráfica simple en el lenguaje de programación *Python*, utilizando la librería *tkinter* para el desarrollo de dicha interfaz y el uso de la librería *folium* para la creación de un mapa interactivo acorde a la solución.

Inicialmente, antes de ejecutar el algoritmo, se solicitará los nombres de los archivos de los albergues, emergencias y familias. Además, se podrá seleccionar si se desea realizar la distribución entre todos los albergues disponibles o bien seleccionar a través del algoritmo *Greedy* los albergues más adecuados según el criterio definido por este. Luego para comenzar la distribución se debe presionar el botón Ejecutar, que se ve en la Figura 23.

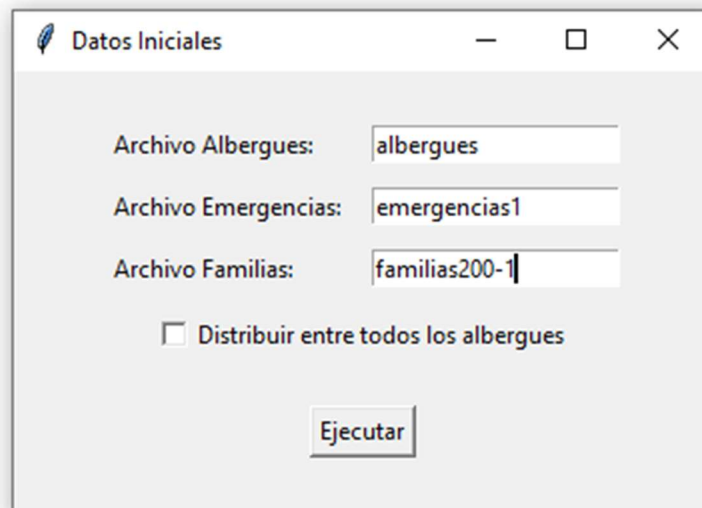


Figura 23: Ingreso de Datos Iniciales.

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez ejecutado el algoritmo, los datos e información obtenidos de la distribución se presentarán a través de diferentes interfaces, las cuales estarán estructuradas de la siguiente forma:

1. General

- a. **Información General (Figura 24):** En esta sección se despliega la información general de la distribución, tales como los albergues disponibles y seleccionados para albergar, las capacidades totales relacionadas, la cantidad de familias por albergar y albergadas, entre otras. Además, se presenta un botón que permite la visualización de un mapa interactivo que

despliega las posiciones geográficas de los albergues y emergencias relacionadas, permitiendo observar la información general de cada uno de estos a través de *pop-ups* como se muestra en las Figuras 25 y 26.

The screenshot shows a window titled "Resultados" with a navigation menu at the top containing "General", "Albergues", "Familias", and "Emergencias". The "Información General" tab is selected, and a "Salir" button is visible. The main area contains a form with the following data:

Cantidad emergencias:	1	Capacidad total:	150
Albergues disponibles:	1 2 5 6 7 8 9 10 11 12 13	Capacidad restante:	0
Albergues seleccionados:	1 2 5 6 7 8 9 10 11 12 13	FNA con discapacitados:	22
Familias por albergar:	200	FNA con niños:	37
Familias albergadas:	150	FNA con adultos mayores:	39
Familias no albergadas (FNA):	50	FNA con mascotas:	26

A "Visualizar Mapa" button is located at the bottom center of the form.

Figura 24: Información General de Distribución.

Fuente: Elaboración Propia.

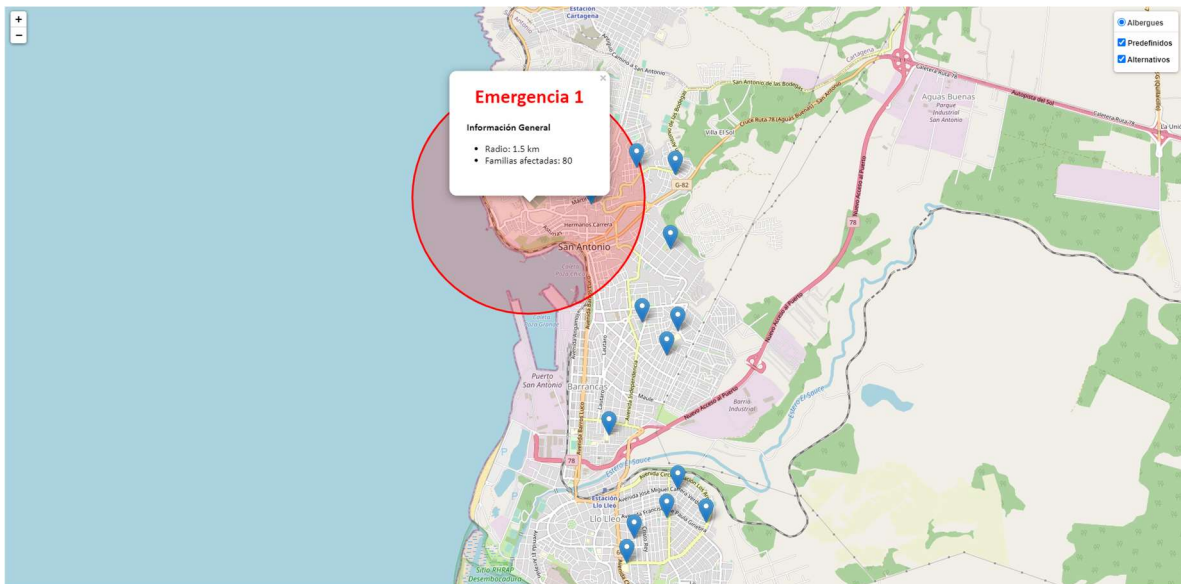


Figura 25: Emergencia Mapa Interactivo.

Fuente: Elaboración Propia.

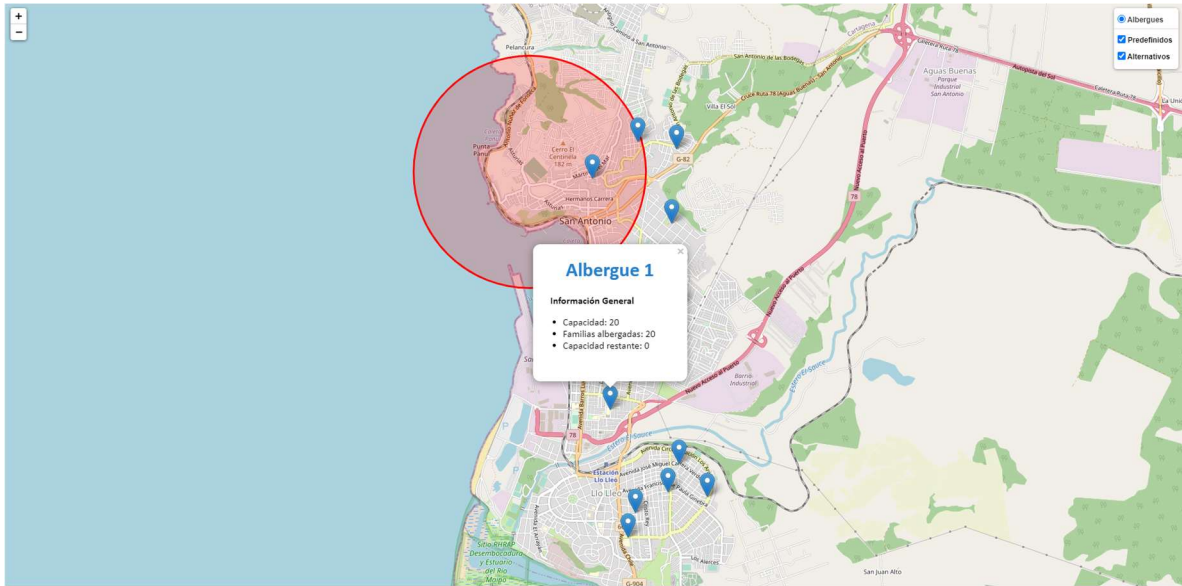


Figura 26: Albergue Mapa Interactivo.
Fuente: Elaboración Propia.

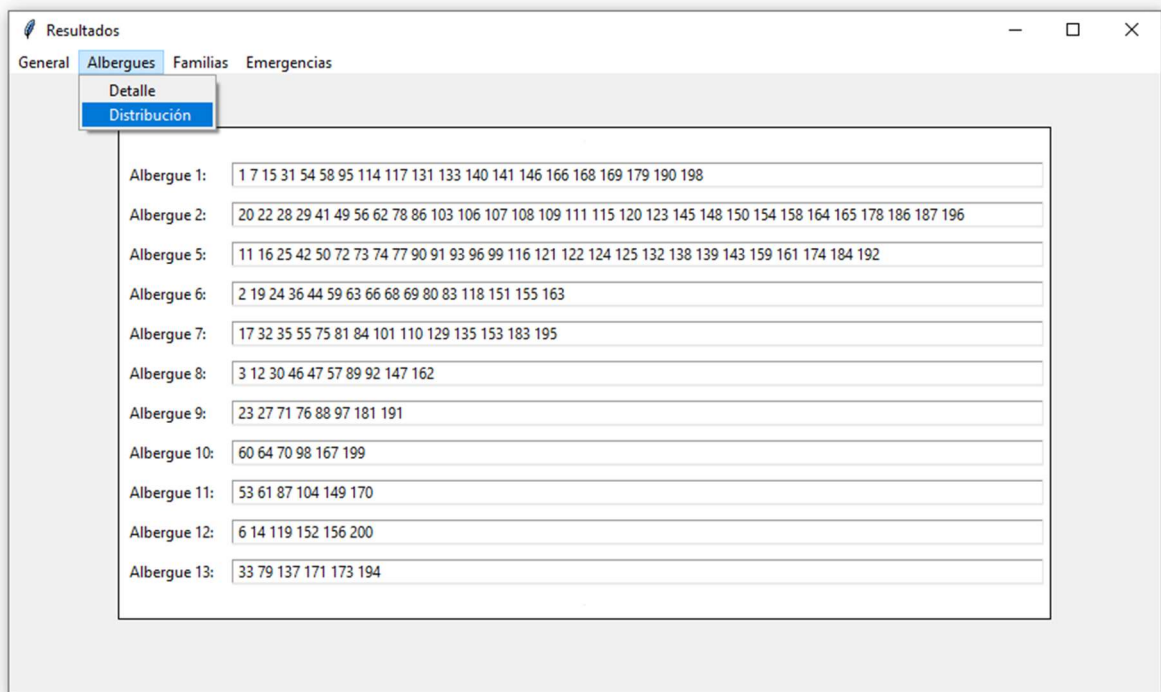
2. Albergues

- a. **Detalle (Figura 27):** En esta sección se presentan los parámetros y capacidades restantes de todos los albergues luego de la distribución, tanto de aquellos que se encuentran fuera del radio de emergencia como los que no.

Resultados						
General Albergues Familias Emergencias						
Detalle						
Distribución						
Albergue	Capacidad	Capacidad restante	Apto discapitados	Zona recreativa	Sitio mascotas	Centro médico cercano
1	20	0	SI	SI	SI	SI
2	30	0	SI	SI	SI	NO
3	38	38	SI	SI	SI	SI
4	18	18	SI	SI	NO	SI
5	28	0	SI	SI	SI	NO
6	16	0	SI	SI	SI	SI
7	14	0	SI	SI	NO	SI
8	10	0	SI	SI	NO	SI
9	8	0	SI	NO	SI	NO
10	6	0	NO	NO	SI	SI
11	6	0	NO	NO	SI	NO
12	6	0	NO	NO	SI	SI
13	6	0	NO	NO	SI	NO

Figura 27: Detalle Albergues.
Fuente: Elaboración Propia.

- b. Distribución (Figura 28):** En esta sección se presenta la distribución realizada sobre los albergues seleccionados, añadiendo la ID de las familias albergadas en cada uno de ellos.



Albergue	ID de Familias
Albergue 1:	1 7 15 31 54 58 95 114 117 131 133 140 141 146 166 168 169 179 190 198
Albergue 2:	20 22 28 29 41 49 56 62 78 86 103 106 107 108 109 111 115 120 123 145 148 150 154 158 164 165 178 186 187 196
Albergue 5:	11 16 25 42 50 72 73 74 77 90 91 93 96 99 116 121 122 124 125 132 138 139 143 159 161 174 184 192
Albergue 6:	2 19 24 36 44 59 63 66 68 69 80 83 118 151 155 163
Albergue 7:	17 32 35 55 75 81 84 101 110 129 135 153 183 195
Albergue 8:	3 12 30 46 47 57 89 92 147 162
Albergue 9:	23 27 71 76 88 97 181 191
Albergue 10:	60 64 70 98 167 199
Albergue 11:	53 61 87 104 149 170
Albergue 12:	6 14 119 152 156 200
Albergue 13:	33 79 137 171 173 194

Figura 28: Distribución Albergues.

Fuente: Elaboración Propia.

3. Familias

- a. Detalle (Figura 29):** En esta sección se presenta los parámetros utilizados de cada una de las familias, tanto de aquellas que esperan ser albergadas como las que ya se encuentran asignadas en un albergue.

Familia	Emergencia asociada	Discapacitados	Niños	Mascotas	Adulto mayor
1	Emergencia 1	SI	SI	SI	SI
2	Emergencia 1	NO	SI	SI	SI
3	Emergencia 1	NO	SI	NO	NO
4	Emergencia 1	NO	SI	NO	NO
5	Emergencia 1	SI	NO	SI	SI
6	Emergencia 1	NO	NO	SI	SI
7	Emergencia 1	SI	NO	SI	SI
8	Emergencia 1	NO	SI	NO	SI
9	Emergencia 1	NO	SI	SI	SI
10	Emergencia 1	NO	SI	SI	NO
11	Emergencia 1	NO	SI	NO	NO
12	Emergencia 1	SI	SI	SI	NO
13	Emergencia 1	NO	SI	SI	SI
14	Emergencia 1	NO	NO	SI	SI
15	Emergencia 1	SI	SI	SI	SI

Figura 29: Detalle Familias.
Fuente: Elaboración Propia.

b. Distribución (Figura 30): En esta sección se presentan las familias junto con el albergue en donde han sido asignadas, de color verde se muestran aquellas que lograron ser albergadas y de color rojo aquellas que no.

Familia	Albergue designado	Albergado
1	Albergue 1	SI
2	Albergue 6	SI
3	Albergue 8	SI
4		NO
5		NO
6	Albergue 12	SI
7	Albergue 1	SI
8		NO
9		NO
10		NO
11	Albergue 5	SI
12	Albergue 8	SI
13		NO
14	Albergue 12	SI
15	Albergue 1	SI

Figura 30: Distribución Familias.
Fuente: Elaboración Propia.

- c. **Resumen Distribución (Figura 31):** En esta sección se presenta el resumen de la distribución de las familias de acuerdo con los parámetros que indican los tipos de integrante familiar.

Familias	Cantidad	Total Albergadas	En Albergue Apto	En Albergue no Apto	No Albergadas
Con Discapacitados	99	77	77	0	22
Con Niños	109	72	71	1	37
Con Mascotas	90	64	64	0	26
Con Adultos Mayores	112	73	66	7	39

Figura 31: Resumen Distribución por Tipo de Integrante Familiar.

Fuente: Elaboración Propia.

4. Emergencias

- a. **Detalle (Figura 32):** En esta sección se presenta el radio de alcance y la cantidad de familias afectadas de cada una de las emergencias asociadas a la distribución.

Emergencia	Radio alcance	Cantidad familias afectadas
1	1.5 km	200

Figura 32: Detalle Emergencias.

Fuente: Elaboración Propia.