**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

****

**ALGORITMO GENÉTICO MULTIOBJETIVO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA EN CASO DE DESASTRES NATURALES EN EL PERÚ**

**Tesis Para optar por el Título de Ingeniero Informático que presenta el bachiller:**

**Robert Alonso Aduviri Choque**

**20112449**

**Asesor: Ing. Rony Cueva Moscoso**

Lima, Marzo de 2018

Resumen

Tema FCI

# Tabla de Contenido

[Resumen 2](#_Toc491787314)

[Tema FCI 3](#_Toc491787315)

[Tabla de Contenido 4](#_Toc491787316)

[Índice de Figuras 5](#_Toc491787317)

[Índice de Tablas 5](#_Toc491787318)

[Capítulo 1. Generalidades 6](#_Toc491787319)

[1.1 Problemática 6](#_Toc491787320)

[1.2 Objetivos 9](#_Toc491787321)

[1.2.1 Objetivo general 9](#_Toc491787322)

[1.2.2 Objetivos específicos 9](#_Toc491787323)

[1.2.3 Resultados esperados 9](#_Toc491787324)

[1.3 Herramientas y Métodos 13](#_Toc491787325)

[1.4 Alcance y limitaciones **Error! Bookmark not defined.**](#_Toc491787326)

[1.5 Viabilidad 14](#_Toc491787327)

[1.5.1 Viabilidad Técnica 14](#_Toc491787328)

[1.5.2 Viabilidad Temporal 14](#_Toc491787329)

[1.5.3 Viabilidad Económica 14](#_Toc491787330)

[1.6 Alcance, Limitaciones y Riesgos 14](#_Toc491787331)

[Capítulo 2. Marco Legal/Regulatorio/Conceptual/otros 15](#_Toc491787332)

[Capítulo 3. Estado del Arte 16](#_Toc491787333)

[3.1 Revisión y discusión 16](#_Toc491787334)

[3.2 Conclusiones 16](#_Toc491787335)

[Capítulo 4. Presentación de los resultados esperados **Error! Bookmark not defined.**](#_Toc491787336)

[Capítulo 5. Conclusiones y trabajos futuros 21](#_Toc491787337)

[5.1 Conclusiones 21](#_Toc491787338)

[5.2 Trabajos futuros 21](#_Toc491787339)

[Referencias 22](#_Toc491787340)

[Anexos a](#_Toc491787341)

Índice de Figuras

Figura 1. Representación simplificada del "Continuo de la Virtualidad". Adaptado de (Aguilar & Zapata, 2016). 15

Índice de Tablas

Tabla 1. Ejemplo de tabla [Aquí va la referencia si la tabla no es de elaboración propia. 14

# Generalidades

## Problemática

A lo largo de los años, la humanidad se ha visto continuamente afectada por la presencia de desastres naturales, como terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, tornados e inundaciones. Dependiendo de la ubicación geográfica, las diversas civilizaciones en el mundo han afrontado determinados tipos de desastres naturales con mayor o menor frecuencia. Mientras que EEUU es continuamente afectada por huracanes, China es afectada por inundaciones y Filipinas es afectada por ciclones. En el caso del Perú, debido a su ubicación en el borde occidental de Sudamérica, la cual es una de las regiones de mayor actividad tectónica en el mundo, conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico, es constantemente afectada por terremotos, deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas e inundaciones.

Dado que los desastres naturales se caracterizan por su inevitabilidad y por lo difícil de su predicción, se requiere de una ardua preparación para enfrentarlos con la mínima cantidad de daños materiales y principalmente humanos. Dentro de los últimos terremotos acontecidos en Perú, el último terremoto de gran magnitud aconteció en Pisco el 15 de agosto del 2007, con una intensidad de 7.9 grados en la escala de Richter contando con 1294 heridos, 596 víctimas mortales y más de 90,000 casas destruidas.

Dicho desastre permitió evidenciar la calidad de planificación y respuesta, dirigida por el INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil). Lamentablemente, esta se caracterizó por una desafortunada respuesta caótica y falta de coordinación e información, así como la falta de consideración de los distintos tipos de demanda de cada zona, tal como queda expresado en el documento de lecciones aprendidas del INDECI:

*“Las necesidades diferenciadas entre los damnificados de la costa y de la sierra resultaron evidentes durante la fase de emergencia: mientras los primeros esperaban ayuda en alimentos, abrigo y techo, los segundos solicitaban principalmente herramientas manuales para reconstruir sus canales de regadío colapsado.”*

Asimismo, resultan lamentables las consecuencias adicionales que se pueden generar debido a un mal manejo de la logística por parte del gobierno. Como ejemplo claro, cuando la población pasa tiempo sin conseguir recibir la ayuda que necesita, la tendencia a que se realicen actos vandálicos se ve incrementada, hechos que efectivamente fueron presenciados durante el citado terremoto de Pisco:

*“La gente se queja de que no está llegando la ayuda, por eso no hay seguridad. Lo contado por el director de un hospital de Chincha parece confirmar su dicho. Según el médico Jorge Parrera, el centro de salud que dirige fue atacado por varios civiles que pensaban que ahí se estaban guardando los alimentos que debían ser distribuidos.”*

Considerando que se movilizaron más de 14,000 toneladas de ayuda humanitaria, es claro que un planeamiento logístico efectivo y rápido es crucial para el bienestar de la población peruana en casos de desastres. La pregunta es ¿Cómo distribuir la ayuda humanitaria de forma eficiente?

Se sabe que el planeamiento logístico involucra la solución a diversos tipos de problemas de optimización, incluyendo problemas de ubicación de almacenes, diseño de la cadena de suministro, distribución a gran escala, distribución de última milla, evacuación y planeamiento de inventario. En el caso de logística de ayuda humanitaria, se pueden distinguir como características principales el volumen de bienes a transportar ubicados en almacenes que normalmente se encuentran alejados de la zona de desastre, la urgencia de la distribución y la priorización del tipo de bienes que requiera cada zona afectada. Por tales motivos, uno de los problemas más críticos a resolver después de acontecido el desastre es la planificación rápida de distribución a gran escala.

La planificación de distribución presenta un escenario donde existen centros de distribución o almacenes, los cuales contienen bienes que serán movilizados por medios de transporte hacia puntos de demanda, considerando la existencia de puntos intermedios o de transbordo. El total de estas ubicaciones forman la red de distribución. Ahora, una consideración importante para la distribución es que los vehículos están sujetos a restricciones de peso y volumen, los cuales limitan la cantidad de bienes que puedan ser transportados y hacen que la decisión de asignación de bienes a vehículos no sea trivial. Es más, en escenarios de distribución a gran escala, la distribución suele realizarse en horizonte de tiempo de días, lo cual añade una dimensión de complejidad al problema de crear un plan de distribución óptimo. Finalmente, el concepto de optimalidad de un plan de distribución puede estar dado por diversos factores, incluyendo el costo de transporte, la atención de la demanda y los costos de inventario sin utilizar.

Para poder abordar un problema de tal magnitud, durante las últimas décadas se ha visto un incremento en la utilización de métodos computacionales para la resolución de problemas de optimización. En particular, en Norteamérica y Europa, se ha mostrado que el uso de procedimientos automatizados mediante el uso de modelos de optimización para los procesos de planificación de distribución produce ahorros sustanciales (generalmente entre el 5% y 20%) en los costos totales de transporte.

Sin embargo, la aplicación de dichos métodos ha sido aplicada principalmente en la industria, gracias a la gran competitividad presente que impulsa el crecimiento de áreas de investigación y desarrollo par mantener un factor diferencial, mientras que el dominio de las cadenas de suministro de ayuda humanitaria no presenta el mismo nivel de desarrollo. A pesar de ello, en los últimos años se ha podido ver un crecimiento en la investigación relacionada a modelos de optimización en logística de emergencia resaltando principalmente modelos de optimización de ubicación de almacenes y enrutamiento de vehículos.

Al considerar el uso de métodos computacionales para resolver problemas de optimización, un factor importante para evaluar la viabilidad de su uso es el tiempo de ejecución que demande su procesamiento ante instancias que representen escenarios reales del problema. Esto dificulta el uso de métodos exactos, por lo cual se hace necesario utilizar técnicas que requieran un menor tiempo de procesamiento a costa de tener soluciones con valores aproximados al óptimo.

En particular, uno de los métodos aproximados que ha obtenido mejores resultados es el uso de metaheurísticas o métodos de optimización estocástica, los cuales forman parte del estado del arte en resolución de problemas de optimización dada su capacidad de evitar óptimos locales, lo cual sucede frecuentemente con el uso de heurísticas. Dada la cantidad de variables en la formulación del problema, así como los múltiples objetivos de optimización, una metaheurística que se presenta como alternativa ideal son los algoritmos evolutivos o genéticos, debido a que ofrecen la robustez necesaria para afrontar este tipo de problemas.

De esta manera, el presente proyecto de fin de carrera busca desarrollar un algoritmo bioinspirado, como es el algoritmo genético, con el fin de servir como alternativa para abordar el problema de optimización de planificación logística en caso de desastres en el Perú y como propuesta para aliviar las carencias planteadas.

## Objetivos

### Objetivo general

Implementar un algoritmo genético con múltiples objetivos para optimizar la distribución de ayuda humanitaria en caso de desastres en el Perú.

### Objetivos específicos

1. Definir las estructuras que soporten los datos y el algoritmo para la resolución del problema de distribución de ayuda humanitaria.
2. Definir la formulación de la función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros del problema de distribución de ayuda humanitaria.
3. Definir y diseñar la función de aptitud y operadores del algoritmo genético.
4. Implementar el algoritmo genético para la resolución del problema de distribución de ayuda humanitaria.
5. Diseñar e implementar un programa lineal a partir de la formulación del problema de optimización.
6. Diseñar y desarrollar la experimentación numérica para comparar el desempeño del algoritmo genético con el método de programación lineal.
7. Desarrollar la interfaz de usuario para la ejecución y visualización de los algoritmos de optimización.

### Resultados esperados

1. Estructuras de datos del algoritmo genético propuesto (O1).
2. Función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros definidos para el problema de distribución de ayuda humanitaria (O2).
3. Pseudocódigo del algoritmo genético conteniendo la función evaluación de aptitud y los operadores (O3).
4. Algoritmo genético implementado y contenido en un componente reutilizable (O4).
5. Programa lineal formulado e implementado en un lenguaje de modelado para su optimización mediante un solver (O5).
6. Componente de software que contenga el programa lineal y ejecute el solver (O5)
7. Desarrollo de un generador de datos de prueba para los algoritmos de optimización (O6).
8. Análisis de datos de un caso real para generar un caso de prueba basada en un escenario real (O6).
9. Instancia de prueba basada en un escenario real conteniendo información sobre la red distribución, así como la oferta, demanda y tipos de bienes y vehículos a transportar (O6).
10. Instancias de prueba de diferente tamaño generadas aleatoriamente (O6).
11. Informe de evaluación y comparación de tiempo de ejecución y optimalidad de los algoritmos de optimización mediante experimentación numérica (O6).
12. Interfaz de usuario implementada y conteniendo los módulos del algoritmo genético y el programa lineal (O7).

### Mapeo de objetivos, resultados y verificación

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Objetivo (O1):** Definir las estructuras que soporten los datos y el algoritmo para la resolución del problema de distribución de ayuda humanitaria | | |
| **Resultado (R1)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Estructuras de datos definidas | Documento | * Definición de estructuras de datos en el documento |
| **Objetivo (O2):** Definir la formulación de la función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros del problema de distribución de ayuda humanitaria | | |
| **Resultado (R2)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros definidos | Documento | * Definición de función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros en el documento |
| **Objetivo (O3):** Definir y diseñar la función de aptitud y operadores del algoritmo genético | | |
| **Resultado (R3)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Pseudocódigo del algoritmo genético conteniendo la función evaluación de aptitud y los operadores | Documento | * Definición del pseudocódigo de la función de evaluación de aptitud y los operadores del algoritmo genético en el documento |
| **Objetivo (O4):** Implementar el algoritmo genético para la resolución del problema de distribución de ayuda humanitaria | | |
| **Resultado (R4)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Algoritmo genético implementado y contenido en un componente reutilizable | Software | * Código del algoritmo genético * Interfaz en consola para ejecutar el algoritmo genético |
| **Objetivo (O5):** Diseñar e implementar un programa lineal a partir de la formulación del problema de optimización | | |
| **Resultado (R5)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Programa lineal formulado e implementado en un lenguaje de modelado para su optimización mediante un solver | Software | * Programa lineal formulado e implementado en un lenguaje de modelado para su optimización mediante un solver |
| **Resultado (R6)** | **Meta física** | * **Medio de verificación** |
| Componente de software que contenga el programa lineal y ejecute el solver | Software | * Código del componente * Interfaz en consola para ejecutar el solver |
| **Objetivo (O6):** Diseñar y desarrollar la experimentación numérica para comparar el desempeño del algoritmo genético con el método de programación lineal | | |
| **Resultado (R7)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Análisis y desarrollo de un generador de datos de prueba para los algoritmos de optimización | Software | * Código del generador de datos * Interfaz en consola para generar datos |
| **Resultado (R8)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Análisis de datos de un caso real para generar un caso de prueba basada en un escenario real | Documento | * Análisis de los datos utilizados de un caso real describiendo dimensiones del problema de un escenario real |
| **Resultado (R9)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Instancia de prueba basada en un escenario real conteniendo información sobre la red distribución, así como la oferta, demanda y tipos de bienes y vehículos a transportar | Dataset | * Archivo con datos describiendo los datos de entrada de un escenario real del problema de optimización |
| **Resultado (R10)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Instancias de prueba de diferente tamaño generadas aleatoriamente | Dataset | * Archivo con datos describiendo datos de entrada de diferente tamaño para los algoritmos de optimización |
| **Resultado (R11)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Informe de evaluación y comparación de tiempo de ejecución y optimalidad de los algoritmos de optimización mediante experimentación numérica | Documento | * Resultados de evaluación y comparación de tiempo de ejecución y optimalidad de los algoritmos de optimización |
| **Objetivo (O7):** Desarrollar la interfaz de usuario para la ejecución y visualización de los algoritmos de optimización | | |
| **Resultado (R12)** | **Meta física** | **Medio de verificación** |
| Interfaz de usuario implementada y conteniendo los módulos del algoritmo genético y el programa lineal | Software | * Código de la interfaz de usuario * Interfaz gráfica para ejecutar los algoritmos de optimización |

## Herramientas y Métodos

Para cada resultado debe existir al menos una herramienta o método para obtenerlo. Puede usar tablas para mostrar: resultado, herramienta o método y forma de validación.

Debe describir a modo resumido las herramientas o métodos y cómo los aplicara en su tesis, esta información debe venir acompañada de referencias donde se encuentra más detalles.

## Viabilidad

### Viabilidad Técnica

### Viabilidad Temporal

### Viabilidad Económica

Cuando utilice una tabla, deberá ser explicada en el texto o utilizada para sustentar alguna idea en el texto y el formato debe ser el mostrado en la Tabla *1*. El título de la tabla debe ir arriba y debe procurar usar referencias cruzadas y títulos de tablas. Los sombreados de las celdas pueden ser distintos de acuerdo a las necesidades del documento.

Tabla 1. Ejemplo de tabla. Aquí va la referencia si la tabla no es de elaboración propia.

| **Encabezado** | **Encabezado** | **Encabezado** |
| --- | --- | --- |
| Texto |  |  |
| Texto |  |  |
|  |  |  |

## Alcance, Limitaciones y Riesgos

# Marco Legal/Regulatorio/Conceptual/otros

## Introducción

En el presente apartado se definirán conceptos que serán de ayuda para entender mejor el problema que se desea resolver así como la solución propuesta. Se abordarán conceptos de logística humanitaria que permitirán entender el contexto y consideraciones que se tengan con el problema, y posteriormente se abarcarán conceptos de optimización combinatoria, complejidad computacional y los problemas relevantes que forman la base del problema de distribución a resolver, así como los métodos exactos y aproximados que existen para afrontarlos, que comprenden métodos heurísticos y metaheurísticos.

## Peligros y desastres

Un peligro es un evento amenazante o la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino dentro de un determinado período y área. Puede ser causado tanto por la naturaleza como por el hombre. Una emergencia es una situación que presenta un riesgo inmediato a la salud, vida, propiedad o entorno. Un desastre es la disrupción del normal funcionamiento de un sistema o comunidad, que causa un fuerte impacto en las personas, estructuras y entorno, y supera la capacidad de respuesta. Algunas veces, el declarar o no una emergencia como desastre es una decisión política, pues tiene consecuencias para el involucramiento de terceras personas en la intervención

## Gestión del desastre y logística humanitaria

La respuesta ante un desastre es un proceso complejo que involucra extrema presión sobre el tiempo, gran incertidumbre y muchos agentes involucrados. También involucra la participación de un número de entidades autónomas para la mitigación, preparación, respuesta y recuperación ante diversos peligros para la sociedad. Los agentes involucrados difieren dependiendo del tipo de desastre, las consecuencias del desastre y el lugar donde acontece, debido a la vulnerabilidad, y se pueden clasificar en tres niveles que están directamente relacionados a las consecuencias del desastre:

a. Nivel local: es el primer nivel de respuesta, usualmente a cargo de agencias locales, organizaciones de sociedad civil y defensa civil. Típicamente, este nivel de emergencia no es declarado como desastre.

b. Nivel nacional: el ejército y defensa civil a nivel nacional, organizaciones gubernamentales y ONGs están usualmente involucradas cuando una emergencia está definida como desastre. Algunas veces, organizaciones internacionales también participan a este nivel.

c. Nivel internacional: comprende gobiernos extranjeros y organizaciones inter-gubernamentales, ONGs internacionales y agencias de las Naciones Unidas. Este nivel es alcanzado cuando la capacidad nacional de respuesta no es suficiente, debido a la magnitud del desastre o a la vulnerabilidad del país, y el gobierno nacional autoriza una operación humanitaria internacional.

Los procesos de toma de decisiones en la gestión de desastres son por tanto extremadamente difíciles, debido a los múltiples actores involucrados y la complejidad de las tareas a realizar. Dentro de dichas tareas, todos los procesos de planificación, implementación y control de almacenamiento y flujo de recursos y materiales, así como información relevante, desde el punto de origen al punto de consumo para el propósito de satisfacer los requerimientos de bienestar y alivio del sufrimiento de personas vulnerables se conoce como logística humanitaria.

Las principales características que diferencian las cadenas de suministro humanitaria en el contexto de gestión de desastres con las cadenas de suministro en negocios son las siguientes:

- Demanda impredecible en términos de tiempo, ubicación geográfica, tipo y cantidad de recursos de demanda.

- Corto tiempo de respuesta y demanda súbita de grandes cantidades de una amplia variedad de productos y servicios.

- Falta de recursos iniciales en términos de suministros, recursos humanos, tecnología, capacidad y financiamiento.

- Presencia de múltiples actores en la toma de decisiones que pueden resultar difíciles de identificar.

Asimismo, se pueden identificar cuatro etapas básicas en el ciclo de la gestión de ayuda humanitaria antes una emergencia:

a. Etapa de mitigación, la cual tiene lugar antes del desastre, y tiene como objetivo desarrollar acciones preventivas que disminuyan los efectos de un posible desastre en el futuro.

b. Etapa de preparación, donde se aborda la planificación con el objetivo de anticiparse a un posible desastre.

c. Etapa de respuesta, la cual tiene lugar durante el desastre y los períodos inmediatamente posteriores, e incluyen la valoración inicial del impacto de la crisis y la organización de las acciones de ayuda y atención de damnificados.

d. Etapa de rehabilitación, la cual acontece después del desastre, y se caracteriza por el alto nivel de interacción con los proyectos de cooperación para el desarrollo con el fin de mejorar la condición de vida de las comunidades afectadas.

## Logística humanitaria en el Perú

Según el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres (CENEPRED) y el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, durante una emergencia se colocan los recursos de personal y materiales a disposición, coordinando con el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) las operaciones de ayuda necesaria y aplicando las medidas previstas en un plan preestablecido. Asimismo, dichas organizaciones tienen como responsabilidad evaluar los daños que se pudieran haber ocasionado en las redes viales y habilitar caminos de emergencia en caso se encuentren bloqueados o con estructuras colapsadas.

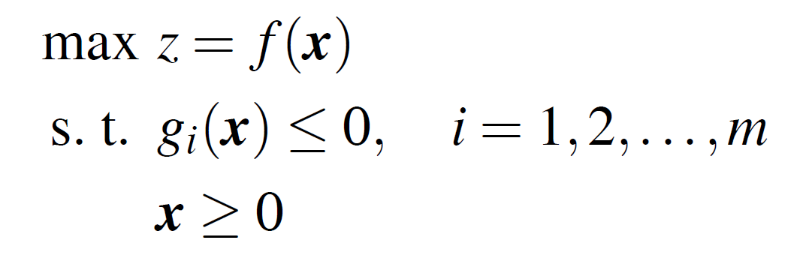
Actualmente, la cadena de abastecimiento humanitaria en el Perú es gestionada por el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD), que es el responsable técnico de coordinar, facilitar y supervisar la formulación e implementación del Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, que comprende los procesos de estimación, prevención, reducción del riesgo y reconstrucción. Asimismo, se encarga de asesorar, elaborar y establecer los lineamientos técnicos y mecanismos para el desarrollo adecuado de los procesos previamente mencionados por los distintos entes públicos y privados que integran el SINAGERD.

## Optimización Combinatoria

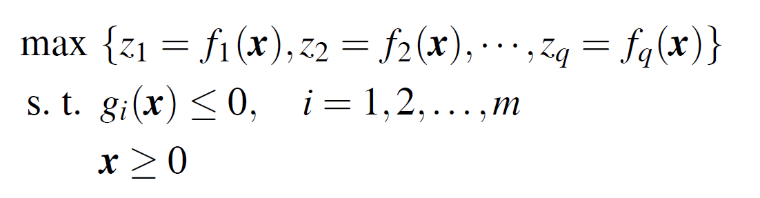
La Optimización Combinatoria tiene como objetivo encontrar un objeto óptimo en una colección finita de objetos. Típicamente, dicha colección posee una representación concisa, como una red de transporte, por ejemplo, mientras que el número de objetos es enorme (todas las posibilidades de rutas sobre la red), de tal manera que la estrategia de evaluar todos los objetos uno por uno no es una opción viable.

## Optimización de múltiples objetivos

La optimización de múltiples objetivos aborda un tipo especial de problemas de optimización que involucran más de una función objetivo a ser optimizada simultáneamente. Debido a ello, comúnmente se tiene que tomar cuenta de los sacrificios que se tengan que realizar entre objetivos potencialmente conflictivos, pues para problemas no triviales, no existe solución que alcance el valor óptimo para absolutamente todos los objetivos. Por tanto, usualmente existe un conjunto de soluciones para el caso de múltiples objetivos que no pueden ser comparadas fácilmente comparadas con otras soluciones. Este tipo de soluciones se denominan soluciones no dominadas o soluciones óptimas de Pareto, para las cuales no es posible realizar una mejora en ninguna función objetivo sin sacrificar por lo menos una de las otras funciones objetivo. Mientras que un problema de optimización de un solo objetivo usualmente presenta la siguiente forma:



Donde x es el conjunto de variables de decisión, f(x) es la función objetivo y g(x) son funciones que representan las restricciones del problema, sin pérdida de generalidad, un problema de optimización puede ser formulado como:



## Problema de transporte

La optimización de múltiples objetivos aborda un tipo especial de problemas de optimización que involucran más de una función objetivo a ser optimizada simultáneamente. Debido

## Problema de transbordo

La optimización de múltiples objetivos aborda un tipo especial de problemas de optimización que involucran

Todas figuras usadas deben estar explicadas o referenciadas en el texto. Al igual que las tablas debe procurar el uso de referencias cruzadas y títulos de figuras/ilustraciones como se muestra en la Figura 1. El título de las figuras va debajo de la figura y debe acompañarse de la referencia si no es de elaboración propia.

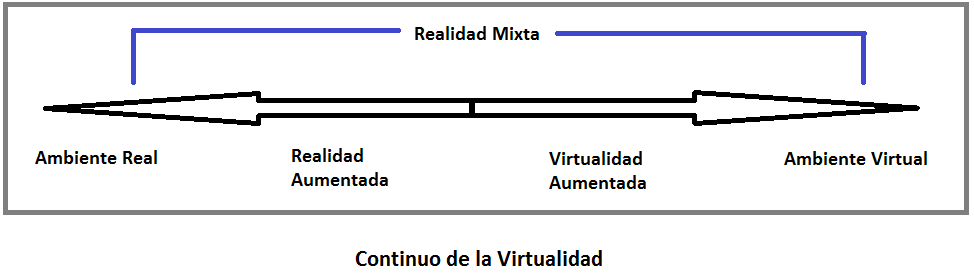


Figura 1. Representación simplificada del "Continuo de la Virtualidad". Adaptado de (Aguilar & Zapata, 2016).

# Estado del Arte

Debe explicarse el método seguido.

## Investigaciones Académicas

### Transporte en operaciones de respuesta a desastres (*Transportation in disaster response operations*)

Djamel Berkoune, Jacques Renaud, Monia Rekik y Angel Ruiz de diferentes universidades e institutos de Canadá desarrollan dos propuestas para resolver el problema de enrutamiento con múltiples productos y múltiples productos que apunta a minimizar la duración total de los viajes: branch-and-bound clásico usando el conocido solver comercial CPLEX con un criterio heurístico de parada, y una construcción heurística rápida para generar soluciones factibles acompañada de un algoritmo genético que usa algunas de las soluciones generadas por el algoritmo heurístico. Los algoritmos fueron probados sobre datasets de tamaño entre 20 y 60. Para las instancias más grandes, el nivel de logro del algoritmo genético sobre el valor objetivo es de 99.28% para una población de 300 individuos durante 300 generaciones en un tiempo de 63 segundos, mientras que el método branch-and-bound alcanzó el valor óptimo en 600 segundos.

### Enrutamiento para esfuerzos de ayuda humanitaria (*Routing for relief efforts*)

Ann Campbell, Dieter Vandenbussche y William Hermann de diferentes universidades en Estados Unidos introducen y analizan dos funciones objetivo para el problema del viajante y el problema de enrutamiento, considerando el tiempo de llegada al destino, en orden de calzar con naturaleza humanitaria de la distribución. La primera función objetivo minimiza el máximo tiempo de llegada y la segunda función objetivo minimiza el tiempo promedio de llegada. Los problemas son resueltos mediante heurísticas de inserción y búsqueda local y fueron probados sobre los datasets de acceso en línea Augerat-A, Augerat-B y Golden, los cuales contienen diversas instancias con un tamaño entre 30 y 70 puntos de demanda. Para comparar los resultados, se usó un modelo de programación entera mixta (MIP) que fue ejecutado por 6 horas. Los resultados están disponibles gráficamente, los cuales se muestran a continuación:

### Modelos para enrutamiento de ayuda humanitaria: Equidad, eficiencia y eficacia (*Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy*)

Michael Huang, Karen Smilowitz y Burcu Balcik de universidades en Estados Unidos y Turquía proponen tres funciones objetivos para un problema de enrutamiento considerando el costo, velocidad y equidad de distribución. Los tres problemas resultantes son resueltos con diferentes metaheurísticas basadas en GRASP. Los resultados son probados en instancias de tamaño 8 a 10 y se consigue un valor de logro sobre el objetivo principal de 0.87.

### Óptima reubicación de stock bajo incertidumbre en operaciones humanitarias post-desastre (*Optimal stock relocation under uncertainty in post-disaster humanitarian operations*)

Alexander Blecken, Beate Rottkemper y Bernd Hellingrath de diferentes universidades de Alemania aplican métodos exactos y heurísticos para afrontar el problema de aprovisionamiento de almacén y flujo de ayuda humanitaria minimizando el costo total. Como método exacto se ejecutó el programa lineal en un solver, y como método aproximado se usó una heurística basada en un árbol de decisión acompañada de una función de utilidad. Los métodos se aplicaron sobre un dataset compuesto de 6 regiones de Myanmar, con una distribución sobre 13 períodos de tiempo. Los resultados se pueden apreciar en el siguiente gráfico:

### Planificación óptima multi-objetivo para el diseño de sistemas de distribución de ayuda humanitaria (*Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems*)

Gwo Tzeng, Hsin Cheng y Tsung Huang de diferentes universidades e institutos en Taiwan usan una técnica para la resolución de programas lineales multi-objetivo conocida como programación difusa o fuzzy programming para abordar el VRP considerando una optimización sobre múltiples períodos a la vez en su función objetivo, minimizando el costo total en primer lugar, el tiempo de viaje total en segundo lugar, y maximizando la satisfacción mínima durante el período de planeamiento en tercer lugar. El algoritmo fue probado sobre 8 puntos de demanda, 5 puntos de distribución y 4 puntos de transbordo que representan zonas de Taiwan y el ranking de nivel de logro estos tres valores objetivo fue de 0.93, 0.82 y 0.65.

### Metaheurística bi-objetivo para la planificación de operaciones de ayuda humanitaria en desastres (*Bi-objective metaheuristic for disaster relief operation planning*)

Pamela Nolz, Karl Doerner, Walter Gutjahr y Richard Hartl de la Universidad de Viena presentan una solución híbrida basada en algoritmos genéticos, búsqueda de vecindario variable y enlace de caminos para abordar un problema multicriterio de distribución de agua afectada por una catástrofe. Los dos criterios contemplados son: la duración del viaje, y el último tiempo de llegada de un vehículo a un punto de demanda. El algoritmo es probado en data real de la provincia de Manabí en Ecuador contando entre 20 y 40 puntos de parada y el nivel de logro estos tres valores objetivo fue de 0.75 y 0.52.

### Modelo de optimización multi-criterio para la distribución de ayuda humanitaria (*A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution*)

Vitoriano Begoña, Teresa Ortuño, Gregorio Tirado y Javier Montero de la Universidad Complutense de Madrid proponen un modelo de doble flujo multi-criterio para abordar el problema de distribución de suministros a la población afectada por un desastre. Criterios como el costo, tiempo de respuesta, equidad de distribución, seguridad y confiabilidad son considerados en conjunto usando un enfoque en programación por objetivos. El modelo fue aplicado durante el terremoto de Haití acontecido en 2010. La red de transporte consistió en 24 nodos y 42 enlaces entre ubicaciones. El resultado se presenta mediante una matriz de recompensa que presenta los niveles de logro de los valores objetivos considerando una prioridad diferente para cada objetivo en cada fila.

## Productos comerciales

### SimpliRoute

SimpliRoute es un ejemplo de productos comerciales modernos, pues se trata de un startup que ofrece una herramienta de planificación de rutas mediante software como servicio basado en interfaces de programación de aplicaciones, o API-based SaaS (Software as a Service). SimpliRoute comenzó en el 2015 y su modelo de optimización considera 4 restricciones en consideración:

- Capacidades de los vehículos

- Diferentes puntos de inicio para los vehículos

- Cambios de conductor

- Ventanas de tiempo para los clientes

Asimismo, cuenta con integración con los servicios Waze y Google Maps, lo cual permite realizar un monitoreo o tracking en tiempo real.

### SAP Transportation Management VSR Optimization

VSR Optimization es un servicio del módulo de Transportation Management del popular sistema SAP, el cual permite asignar unidades de carga a capacidades, que puedan pertenecer a vehículos, por ejemplo, de un modo eficiente, considerando las siguientes restricciones:

- Capacidades de los vehículos

- Ventanas de tiempo para los vehículos

- Ventanas de tiempo para los clientes

- Tiempo de expiración de productos

- Duración del viaje

- Distancia recorrida

- Cantidad de paradas intermedias

Dado que es parte del mismo ecosistema SAP, la integración con módulos de ventas y de gestión de la cadena de suministro no presenta ningún problema.

### Google Optimization Tools

Google Optimization Tools es una suite gratuita para problemas de optimización combinatoria, la cual consiste en una interfaz unificada para variados problemas de programación lineal y entera, incluyendo problemas de asignación, empaquetamiento y enrutamiento. El modelo de VRP contempla las siguientes restricciones:

- Capacidad de ubicaciones y vehículos

- Máximo número de ubicaciones a visitar por vehículo

- Restricciones de tiempo y distancia

- Ventanas de tiempo

- Relaciones de precedencia entre pares de ubicaciones

Asimismo, la suite presenta herramientas para la resolución del problema de la mochila o knapsack, que considera como criterios el peso de los productos y el valor de los productos, así como el problema de programación de tareas o scheduling, que considera tareas secuenciales e indivisibles.

## Revisión y discusión

adsf

## Conclusiones

Se ha conseguido apreciar que los trabajos de investigación sobre optimización de logística humanitaria son variados, y se distinguen por el tipo de optimización que realizan, considerando optimización sobre un objetivo o bien sobre múltiples objetivos. Asimismo, se ha identificado que los métodos más utilizados son las metaheurísticas y los métodos basados en lógica difusa o fuzzy. Finalmente, se ha logrado identificar un conjunto de productos y herramientas comerciales muy conocidos y centrados en la resolución del problema de enrutamiento de vehículos principalmente, así como el problema de la mochila o knapsack. De esta manera, se ha obtenido un panorama más claro de la investigación y herramientas existentes actualmente, con el fin de tener una referencia al momento de desarrollar el presente proyecto de fin de carrera.

# Definición de la formulación de la función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros del problema de distribución de ayuda humanitaria

## Introducción

Para poder desarrollar algoritmos para optimizar la distribución de ayuda humanitaria primero se debe plantear el problema para conocer qué se desea optimizar, qué parámetros describen una instancia del problema, cuáles son las variables que describen una posible solución y cuáles son las restricciones que actúan sobre estas variables

## Resultado

### Parámetros del problema de optimización

### Red de distribución

Uno de los elementos principales del problema es la red de distribución, la cual involucra representar un grafo mediante el número de nodos (K) y aristas entre los nodos, la cual consiste en un conjunto de pares ordenados (j, k) que indican que el nodo j está conectado con el nodo k. En el caso que se está abordando, el cual es distribución a gran escala, los nodos suelen representar distritos conectados por carreteras, siendo la distancia de cada carretera representada por el parámetro Distancia\_jk la cual influirá en el cálculo del costo de distribución.

### Horizonte de planificación de la distribución

Como la distribución de ayuda humanitaria es un proceso que suele abarcar varios días, es necesario un parámetro que acote el horizonte de planificación del problema, la cual queda definida por T que representa el número de períodos (normalmente días).

### Oferta y demanda inicial en los nodos de la red de distribución

Las condiciones iniciales del problema deben indicar cuánta oferta y cuánta demanda de los bienes de distribución existe en cada nodo en el período cero. Esta oferta y demanda irá cambiando a lo largo del tiempo según las decisiones de transporte que se tomen como resultado del algoritmo de optimización. La oferta de bienes se define por el parámetro Inventario\_k0, que representa la cantidad de bienes que existe en el nodo k en el período cero, mientras que la demanda de bienes se define por el parámetro Demanda\_k0, que representa la cantidad de bienes que se requieren en el nodo k en el período cero.

### Vehículos para el transporte de bienes

Los bienes se movilizarán entre los nodos mediante los vehículos, para los cuales se define la capacidad máxima de bienes que pueden transportar (CapacidadVeh) y el costo de transporte por unidad de distancia (CostoTransp). Asimismo, para saber de cuántos vehículos disponemos en cada lugar, también se establece la cantidad inicial de vehículos disponibles en el nodo k, la cual queda definida por el parámetro VehDisponibles\_k0. A medida que los vehículos se desplacen a lo largo de los períodos, la cantidad de vehículos disponibles en cada nodo irá cambiando a lo largo del tiempo según las decisiones de transporte que se tomen como resultado del algoritmo de optimización.

### Variables de decisión

### Cantidad de vehículos que se movilizan

Los bienes se movilizarán entre los nodos mediante los vehículos, los cuales cambiarán de ubicación a lo largo del tiempo, lo cual origina la variable de decisión que establezca cuántos vehículos serán movilizados desde el nodo j al nodo k en el período t (Veh\_jkt).

### Cantidad de bienes que se transportan

De la misma manera, se requiere una variable de decisión que establezca cuántos bienes serán transportados en los vehículos, lo cual queda origina la variable de decisión que indique cuántos bienes serán transportados en los vehículos desde el nodo j al nodo k en el período t (Transp\_jkt).

### Variables auxiliares

### Oferta y demanda a lo largo del tiempo

A partir de las decisiones de transporte que se tomen, la oferta y la demanda en cada ubicación irá siendo actualizada, lo cual quedará indicado por las variables Inventario\_kt y Demanda\_kt, las cuales indican cuánto de oferta y demanda existe en el nodo k en el período t.

### Consumo de bienes

En el momento en que los bienes lleguen al nodo actual, dicho bien será consumido para satisfacer la posible demanda existente, lo cual quedará registrado en la variable Consumo\_kt, que indica cuántos bienes se consumen en el nodo k en el período t.

### Vehículos disponibles

De una manera análoga al control del inventario de los bienes, se debe tener un control de cuántos vehículos se encuentran en cada ubicación en cada período. Esto queda representado por la variable VehDisponibles\_kt, que indica la cantidad de vehículos disponibles en el nodo k en el período t.

### Función objetivo

### Minimizar demanda actual

El primer objetivo a considerar en la optimización multiobjetivo está orientado a satisfacer la demanda en los nodos lo más pronto posible. Por ello, el valor que será minimizado es la suma total de la demanda en todos los nodos y períodos. De esta manera, una posible solución que satisfaga la demanda de todos los nodos en 3 días será preferible a una solución que solo satisfaga la demanda de la mitad de los nodos en 6 días. La siguiente expresión indica la suma de la demanda de cada nodo k en todos los períodos t:

### Minimizar costo de transporte

Así como se desea atender la demanda lo más pronto posible, también se debe considerar realizarlo de la manera más eficiente posible, para no desperdiciar recursos que podrían ser utilizados para atender a más nodos. Debido a que el costo de transporte tiende a ser proporcional a la distancia recorrida, el valor total del segundo objetivo de optimización será la suma del costo unitario de transporte (por unidad de distancia) multiplicado por la distancia recorrida de todos los vehículos. De esta manera, una posible solución que llegue a su destino por una ruta más corta será preferible a una solución que movilice a los vehículos por rutas innecesarias. La siguiente expresión indica la suma del costo de transporte unitario por la distancia entre los nodos j y k, multiplicada por la cantidad de vehículos que se desplacen desde j hacia k en el período t:

### Restricciones

### Evitar enviar más bienes de los que se dispone

Como en todo problema de transporte, es necesario asegurar que solo se puedan transportar bienes que se encuentren en el inventario. Esto queda descrito por la siguiente restricción, que indica que, en cualquier período t, la suma de la cantidad bienes que sean transportados desde el nodo j hacia los demás nodos adyacentes k (bienes que salen desde j) no debe ser superior al inventario total en el nodo j:

### Evitar usar más vehículos de los que se dispone

De manera análoga, se debe garantizar que no se intente usar más vehículos de los que se dispone para transportar los bienes. Esto queda descrito por la siguiente restricción, que indica que, en cualquier período t, la suma de los vehículos que sean movilizados desde el nodo j hacia los demás nodos adyacentes k (vehículos que salen desde j) no debe ser superior a la cantidad de vehículos disponibles en el nodo j:

### Evitar sobrepasar la capacidad de los vehículos

La cantidad de bienes que serán transportados será limitada también por la capacidad de los vehículos que se tengan disponibles. Esto queda descrito por la siguiente restricción, que establece que, en cualquier período t, la cantidad de bienes que se transporten de j a k no debe ser superior a la capacidad total de la cantidad de vehículos que se movilicen de j a k:

### Balance en el inventario

El movimiento de los bienes entre los diferentes nodos actualizará el inventario en cada período, generando reglas que a su vez

## Relación con el objetivo

Del capítulo 4 hasta el N deben ir los resultados. Introducción, enunciar el resultado, rela

## Validación de la construcción

Del capítulo 4 hasta el N deben ir los resultados. Introducción, enunciar el resultado, rela

# Definición de las estructuras que soporten los datos y el algoritmo para la resolución del problema de distribución de ayuda humanitaria

Del capítulo 4 hasta el N deben ir los resultados. Introducción, enunciar el resultado, relacionarlo con el obj

# Definición de la formulación de la función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros del problema de distribución de ayuda humanitaria

Del capítulo 4 hasta el N deben ir los resultados. Introducción, enunciar el resultado, relacionarlo con el obj

# Definición de la formulación de la función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros del problema de distribución de ayuda humanitaria

Del capítulo 4 hasta el N deben ir los resultados. Introducción, enunciar el resultado, relacionarlo con el obj

# Definición de la formulación de la función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros del problema de distribución de ayuda humanitaria

Del capítulo 4 hasta el N deben ir los resultados. Introducción, enunciar el resultado, relacionarlo con el obj

# Definición de la formulación de la función objetivo, restricciones, variables de decisión y parámetros del problema de distribución de ayuda humanitaria

Del capítulo 4 hasta el N deben ir los resultados. Introducción, enunciar el resultado, relacionarlo con el obj

# Conclusiones y trabajos futuros

## Conclusiones

## Trabajos futuros

Referencias

Aguilar, M., & Zapata, C. (2016). Integrating UCD and an Agile Methodology in the Development of a Mobile Catalog of Plants. En M. Soares, C. Falcão, & T. Z. Ahram (Eds.), *Advances in Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations, July 27-31, 2016, Walt Disney World®, Florida, USA* (pp. 75–87). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41685-4\_8

Krusche, S., & Bruegge, B. (2014). User feedback in mobile development. En *MobileDeLi 2014 - Proceedings of the 2nd International Workshop on Mobile Development Lifecycle, Part of SPLASH 2014* (pp. 25–26). Recuperado a partir de http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84921489617&partnerID=40&md5=0198a5715bec4bf6608454ce82f098d2

Anexos

Los anexos deben ser referenciados desde el documento. Por ejemplo debe existir un párrafo donde se diga que determinada información puede ser vista en el Anexo X

Los anexos pueden numerarse con letras o número de acuerdo a su preferencia.