

## Revisión de problemas de ruteo de vehículos aplicado a desastres naturales

**Giancarlo Vladimir Navarro Castro**

**gnavarro@alumnos.unp.edu.pe**

*Escuela de posgrado*

*Universidad Nacional de Piura*

*.Urb. Miraflores, Castilla, Piura, Perú.*

**Flavio Gutiérrez Guzmán**

**flavio.j.g.g.p@gmail.com**

*Facultad de Ingeniería Industrial*

*Universidad de Piura*

*.Av. Ramón Mugica 131, Urb. San Eduardo Piura, Perú*

**José Rodríguez-Melquiades**

**jrodriguez@unitru.edu.pe**

*Departamento de Informática*

*Universidad Nacional de Trujillo*

*.Av. Juan Pablo II S/N Urb. San Andrés, Trujillo, La Libertad, Perú.*

**Edwar Lujan Segura**

**elujan@uct.edu.pe**

*Departamento de Informática*

*Universidad Católica de Trujillo*

*.Panamericana Norte Km. 555, Moche, Trujillo, La Libertad, Perú.*

**Flabio Gutiérrez Segura**

**flabio@unp.edu.pe**

*Departamento de Matemática*

*Universidad Nacional de Piura*

*.Urb. Miraflores, Castilla, Piura, Perú.*

### Resumen

Presentamos una revisión de trabajos que abordan el problema de la logística e implementación de modelos de ruteo de vehículos frente a desastres naturales, encontrados en las siguientes bases de datos: Science Direct, Ebsco, Scielo, Taylor & Francis, Scopus, IEEE, Google Scholar; abordando el problema de la logística e implementación de modelos de ruteo de vehículos frente a desastres naturales, se establecieron parámetros que permiten seguir una directriz en la evolución de este campo, tales como: el tipo de desastre abordado, tipo de problema, tipos de modelos, métodos de solución e impacto que han tenido frente a la comunidad científica; esto permitirá a futuros investigadores, facilitar la indagación y tener una visión más amplia de la evolución de los problemas de ruteo de vehículos aplicados a situaciones de desastre. La revisión considera trabajos desarrollados entre los años 2005-2020.

**Palabras clave:** Ruteo de vehículos, heurística, metaheurística, desastres naturales.

### Abstract

We present a review of documents that address the problem of logistics and implementation of vehicle routing models in the face of natural disasters, found in the

following databases: Science Direct, Ebsco, Scielo, Taylor & Francis, Scopus, IEEE, Google Scholar; Addressing the problem of logistics and implementation of vehicle routing models in the face of natural disasters, parameters were established that allow following a guideline in the evolution of this field, such as: the type of disaster addressed, type of problem, types of models, methods of solution and impact that they have had in front of the scientific community; This will allow future researchers to facilitate the investigation and have a broader vision of the evolution of vehicle routing problems applied to disaster situations. These articles have been developed between the years 2005-2020.

**keywords:** Vehicle routing, heuristics, metaheuristics, natural disasters.

## 1. Introducción

La falta de conciencia de las personas por el medio ambiente ha incrementado la contaminación y esta, a su vez, el calentamiento global, causando que los desastres naturales sean más frecuentes, como el derretimiento de los glaciares en Antártida, los tornados y huracanes en Norte América, tsunamis e inundaciones en Asia, el incremento de la intensidad del fenómeno El Niño en algunos países de Sudamérica. Por estos motivos, es importante la implementación de la logística Pre y Post desastre que permita salvaguardar la vida de las personas. La logística pre desastres permite reducir el impacto ambiental negativo y contrarrestar la vulnerabilidad de una sociedad, algunas acciones a considerar son: capacitar a la población para responder a este tipo de situaciones, el refuerzo de construcciones, limpieza de líneas de drenaje, descolmatación de los ríos, etc. La logística post desastre atiende rápidamente a las necesidades de los afectados, esto se traduce en la disminución del número de decesos, atención médica oportuna, abastecimiento de alimentos, etc.

Golden et al. (2014) muestra cuatro fases en la gestión de desastres:

**Fase de mitigación:** se refiere las actividades que disminuyen el impacto potencial del desastre, estas incluyen el refuerzo de edificios para soportar desastres o la prevención para no poblar áreas peligrosas.

**Fase de preparación:** se toman medidas que permiten una respuesta rápida y apropiada después de un desastre. Cuando ocurre un desastre, hay una enorme demanda de suministros esenciales en un corto período de tiempo. Es crucial tener suministros de emergencia como carpas, botiquines de primeros auxilios y alimentos a la mano para estar preparados frente al peor de los casos. Cuanto mejor sea la preparación, más rápido será el tiempo de respuesta después de un desastre y más vidas se pueden salvar.

**Fase de respuesta:** se enfoca en operaciones que satisfacen las necesidades urgentes de una población inmediatamente después de un desastre y puede continuar durante varias semanas. En esta fase, todos los recursos disponibles se movilizan para minimizar la amenaza inmediata y generar bienestar en la población. Una operación humanitaria exitosa es aquella que satisface las necesidades urgentes de la población en el menor tiempo posible. El costo asociado con las operaciones juega un papel menor. En cambio, el tiempo es el factor más crítico.

**Fase de recuperación:** incluye actividades a largo plazo que apoyan la autosostenibilidad de la población, el retorno a la normalidad, la eliminación de escombros y el suministro de atención médica y alimentos.

Típicamente, las cuatro fases se llevan a cabo de manera cíclica (es decir, las comunidades afectadas comienzan con la fase de mitigación justo después de haberse recuperado de un desastre).

Se proponen diferentes medidas de desempeño para cuantificar la eficiencia y efectividad de las operaciones humanitarias. Las medidas más adecuadas para los problemas de enrutamiento de socorro en casos de desastre son el tiempo de respuesta (el tiempo que transcurre hasta que se satisfacen las necesidades urgentes), la equidad del servicio (las diferencias en la asistencia brindada a las personas en varios lugares), la satisfacción de la demanda (el volumen de bienes distribuidos a la población) y el costo de transporte. La importancia de cada medida depende de la fase de gestión de desastres con la que se asocia el problema específico. Por ejemplo, el tiempo de respuesta es la principal preocupación en la fase de respuesta, mientras que el costo es más importante en la fase de recuperación.

La implementación de un modelo de ruteo de vehículos para la distribución oportuna de ayuda de primera necesidad como agua mineral, productos enlatados, botiquín, tiendas de campaña, es indiscutiblemente necesaria.

Se ha observado en la literatura, como se han ido perfeccionando los modelos de ruteo de vehículos con el pasar del tiempo tratando de ajustarse a la realidad, encontramos modelos estáticos, dinámicos, difusos; aquellos que se adaptan mejor a la realidad son aquellos que mayor complejidad poseen. Para reducir el tiempo de respuesta, dada la complejidad de los problemas de ruteo de vehículos, se han desarrollado diversas técnicas heurísticas, metaheurísticas; entre las más resaltantes encontramos: algoritmos genéticos, algoritmos inspirados en colonias de hormigas (ACO), algoritmos de dos fases, recocido simulado.

En Guzman et al. (2020), se realiza una revisión del ruteo de vehículos aplicado solo a desastres naturales ocurridos en Sudamerica

## 2. Alcance de la revisión

Se restringió la revisión a lo siguiente: artículos de revistas, actas de congresos, capítulos de libros, tesis en idioma español e inglés. La búsqueda se realizó en las bases de datos: Science Direct, Ebsco, Scielo, Taylor & Francis, Scopus, IEEE, Google Scholar, se utilizó las palabras problema: ruteo de vehículos combinado con las palabras desastres naturales, aluvión, terremoto, huracán, tornado, inundación y tsunami.

Respecto a los métodos aplicados para resolver los modelos VRP y sus variantes se han clasificado en métodos exactos, heurísticos y metaheurísticos. Los métodos exactos obtienen una solución óptima, pero son ineficientes en problemas de alta complejidad, los métodos más utilizados son: Programación Lineal Entera, programación Dinámica y el método de ramificación y acotamiento (Branch and Bound). Las heurísticas y metaheurísticas aunque no encuentran la solución óptima, pero permiten encontrar buenas soluciones en tiempos razonables. Las heurísticas son métodos de búsqueda local, una de las dificultades es que pueden quedar atrapados en óptimos locales del espacio de búsqueda. Las heurísticas se pueden clasificar en constructivos, de dos fases y métodos de mejora. Las metaheurísticas, son métodos generales que se adaptan para solucionar problemas particulares e incluyen mecanismos para evitar quedar atrapados en óptimos locales del espacio de búsqueda; las metaheurísticas más utilizadas son: Algoritmos Genéticos (GA), Algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO), Algoritmo Colonia Artificial de Abejas (Artificial

Bee Colony-ABC), Algoritmos Meméticos (MA), Recocido Simulado (SA) Laporte (2009); Medina et al. (2011).

## 2.1 Terminología y notaciones

El Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI) en documento publicado SIN (2005) define fenómeno natural y fenómeno inducido como:

**Fenómeno natural:** todo lo que ocurre en la naturaleza, puede ser percibido por los sentidos y ser objeto del conocimiento. Se clasifican en: fenómenos generados por procesos dinámicos en el interior de la tierra; fenómenos generados por procesos dinámicos en la superficie de la tierra; fenómenos meteorológicos o hidrológicos; fenómenos de origen biológico.

**Fenómeno inducido:** producido por la actividad del hombre, por ejemplo incendios, accidentes, derrame de sustancia nociva, contaminación, entre otros.

**Modelo determinista:** donde todos los cambios de los posibles estados del sistema se pueden predecir con certeza, y su comportamiento se evalúa con medidas de efectividad o eficiencia. Las entradas o condiciones iniciales producirán invariablemente las mismas salidas o resultados, es decir siempre que se someta a un mismo estímulo, reacciona de la misma manera.

**Modelo estocásticos:** se centran en el estudio y modelización de sistemas que evolucionan a lo largo del tiempo, o del espacio, de acuerdo a una leyes no determinísticas, es decir de carácter aleatorio.

**Modelo difuso:** se puede interpretar el modelado difuso como un esquema de modelado cualitativo mediante el cual se describe el comportamiento del sistema empleando un lenguaje natural. De manera específica, sería una descripción del sistema mediante cantidades difusas, que se expresan en términos de números difusos o conjuntos difusos asociados con una etiqueta lingüística.

El Cuadro 1, muestra la notación y descripción de los modelos de ruteo de vehículos existentes.

Cuadro 1: Taxonomía de problemas de ruteo de vehículos

Modelo de ruteo de vehículo	Descripción
<b>VRP</b>	El problema de ruteo de vehículos VRP, por sus siglas en inglés, hace referencia a la asignación adecuada de las rutas de distribución o abastecimiento, a una flota de carros destinada a transportar la mercancía de un punto de depósito a los clientes.
<b>CVRP</b>	(Capacited VRP), es el VRP más general y consiste en uno o varios vehículos con capacidad limitada y constante encargados de distribuir los productos según la demanda de los clientes.

<b>MDVRP</b>	(Multi-Depot VRP), o VRP con múltiples depósitos es un caso de ruteo de vehículos en el que existen varios depósitos (cada uno con una flota de vehículos independiente) que deben servir a todos los clientes.
<b>PVRP</b>	(Period VRP), contempla en su planteamiento un horizonte de operación de $M$ días, periodo durante el cual cada cliente debe ser visitado una vez.
<b>SDVRP</b>	(Split Delivery VRP), o VRP de entrega dividida, donde se permite que un cliente pueda ser atendido por varios vehículos si el costo total se reduce, lo cual es importante si el tamaño de los pedidos excede la capacidad de un vehículo.
<b>SVRP</b>	(Stochastic VRP), se trata de un VRP en que uno o varios componentes son aleatorios; clientes, demandas y tiempos estocásticos son las principales inclusiones en este tipo de problemas.
<b>VRPPD</b>	(VRP Pickup and Delivery), o VRP con entrega y recogida, es aquel en el que cabe la posibilidad de que los clientes pueden devolver determinados bienes, por tanto, se debe tener presente que estos quepan en el vehículo. Esta restricción hace más difícil el problema de planificación y puede causar una mala utilización de las capacidades de los vehículos, un aumento de las distancias recorridas o a un mayor número de vehículos.
<b>MFVRP</b>	(Mix Fleet VRP), es un VRP en el que se suponen vehículos con distintas capacidades o capacidad heterogénea, por lo que es necesario considerar estas capacidades en la ruta que seguirá cada recurso, ya que un camión más grande podrá realizar una ruta más larga o que tenga mayor concentración de demanda.
<b>VRPTW</b>	(VRP with Time Windows), es aquel en el que se incluye una restricción adicional en la que se asocia a cada cliente una ventana de tiempo, es decir, cada cliente sólo está dispuesto a recibir el bien o servicio durante un intervalo de tiempo predeterminado.
<b>VRPB</b>	VRP con red de retorno: El cliente puede demandar o entregar la mercancía, de esta manera se generan dos subconjuntos de clientes al interior de las rutas, los consumidores y los vendedores; ocasionando una distribución mixta, lo cual representa la minimización de costos totales asociados.
<b>DCVRP</b>	VRP con restricciones de capacidad y distancia: La capacidad de los vehículos es limitada y la longitud de los arcos que se realizan en una ruta, es decir las distancias.
<b>OVRP</b>	VRP abierto: En este caso, el vehículo no está obligado a regresar al depósito, una vez haya finalizado su recorrido. Se presenta generalmente, cuando las organizaciones no cuentan con una flota de vehículos propia parcial o totalmente.

<b>VRPF</b>	VRP difuso: Surge en respuesta a la dificultad para establecer demandas, tiempos de recorrido y ubicación de los clientes desconocidos.
<b>PVRPTW</b>	El problema de ruteo periódico del vehículo con ventanas de tiempo: requiere atender a un conjunto de clientes en un horizonte de planificación de varios períodos y satisfacer las restricciones de ventana de tiempo para las visitas en cada período. Cada cliente se caracteriza por un conjunto de combinaciones viables de períodos de visita (llamados “patrones”) y una ventana de tiempo para las visitas.
<b>DVRPTW</b>	Ruteo dinámico del vehículo con ventanas de tiempo: se enfoca en la demanda cambiante que se presenta al interior de un sistema de transporte y en donde los requerimientos, deben satisfacerse dentro de una ventana de tiempo definida. Es decir, el cliente solo se encuentra disponible para atender el requerimiento en un intervalo de tiempo definido; de lo contrario se verá penalizado económicamente.
<b>LRP</b>	Problema de localización y ruteo: Puede ser representado por una red, donde cada cliente y depósito son simbolizados por un vértice y deben ser visitados una vez para la entrega de un bien o recolección de un objeto; y, los arcos son las rutas de acceso. Para este problema no se toma en cuenta el inventario de cada instalación o del depósito.
<b>CTP</b>	El problema del recorrido de cobertura: El CTP consiste en determinar un ciclo hamiltoniano de longitud mínima de modo que cada vértice esté dentro de una distancia preespecificada del ciclo.
<b>2E-VRP:</b>	Problema de ruteo de vehículos en dos niveles (2E-VRP, por sus siglas en inglés). El primer nivel es la entrega del depósito central a las instalaciones (satelitales) y el segundo nivel es la entrega de los satélites a los clientes. Se impone un límite en el número de vehículos en cada nivel. Claramente, el 2E-VRP es una generalización del clásico problema de enrutamiento de vehículos (VRP) y, por lo tanto, es NP-hard Hemmelmayr et al. (2012).

Las definiciones se han tomado en base a González Vargas et al. (2006) y Medina et al. (2011)

Una revisión reciente sobre el estado del arte del PRV, sus variantes, clasificación, métodos de solución y tendencias puede hallar en Braekers et al. (2016)

### 3. Resultados

De los textos recopilados se obtiene que el porcentaje de los artículos representa el 57,44 %, tesis 34,04 % y capítulos de libro 8.52 %.

Cuadro 2: Número de investigaciones según su método de solución

Método de solución aplicado	Cantidad
Método Exacto	14
Metaheurísticas	23
Heurísticas	9
Otros métodos	1

### Método de solución

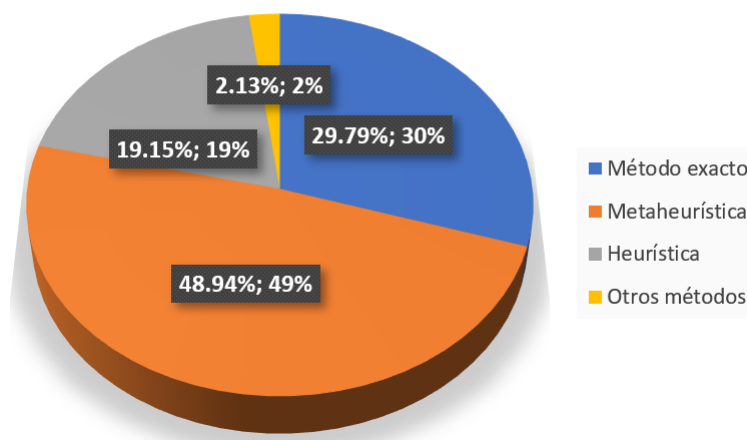


Figura 1: Porcentaje de los métodos de solución considerados

Encontramos que las metaheurísticas son los métodos más usados para resolver problemas de ruteo de vehículos aplicados a desastres naturales (Ver el Cuadro 2 y la Figura 1)

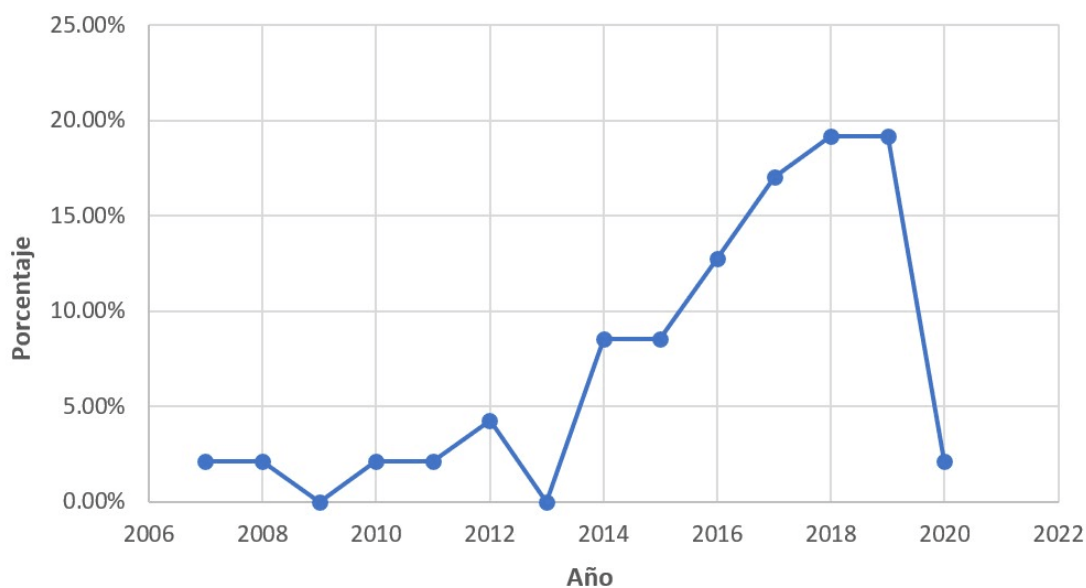


Figura 2: Porcentaje de publicaciones por año

Porcentajes de publicaciones por año: año 2007, 2.13 %; año 2008, 2.13 %; año 2010, 2.13 %; año 2011, 2.13 %; año 2012, 4.26 %; año 2014, 8.51 %; año 2015, 8.51 %; año 2016, 12.76 %; año 2017, 17.02 %; año 2018, 19.145 %; año 2019, 19.145 %; año 2020, 2.13 % (Ver Figura 2)

Cuadro 3: Número de investigaciones según el tipo de VRP

Tipo de problema	Cantidad
VRP	15
CVRP	9
MDVRP	6
VRPTW	2
2E-VRP	2
PVRPTW	3
DVRPTW	2
VRPPD	3
VRPF	1
LRP	1
CTP	1
SDVRP	2



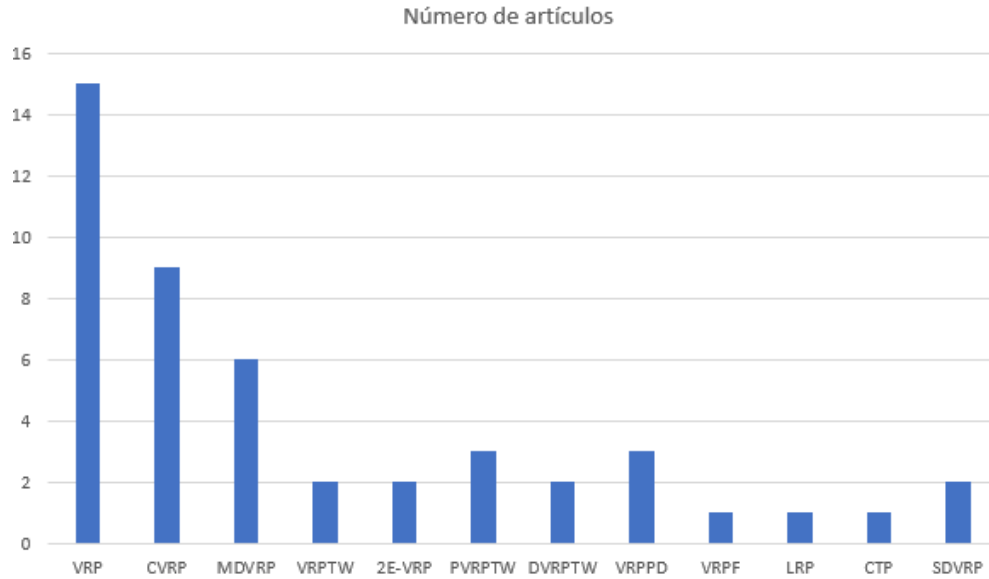


Figura 3: Gráfica del número de investigaciones según el tipo de VRP

En el Cuadro 3 y la Figura 3, se puede ver el número de investigaciones según el tipo de VRP.

Algunos trabajos registran factor de impacto, el Cuadro 4, muestra los cuartiles a los que pertenecen.

Cuadro 4: Factor de impacto de las investigaciones

Cuartil	Trabajos
$Q_1$	Al Theeb and Murray (2017), Yi and Kumar (2007), Vitoriano et al. (2011), Alinaghian et al. (2019), Li and Chung (2019), Oruc and Kara (2018), Wang et al. (2016)
$Q_2$	Gharib et al. (2018), Penna et al. (2018), Nolz et al. (2010), Wisetjindawat et al. (2015), Khare et al. (2020), Xiong et al. (2019), Yadollahnejad et al. (2017), Wohlgemuth et al. (2012)
$Q_3$	Yi et al. (2019)
$Q_4$	-

El tipo desastre, tipo de problema, el modelado, métodos de solución, se resume en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Resumen de las investigaciones de VRP en desastres naturales

<b>TIPO DE DESASTRE</b>	<b>TIPO DE PROBLEMA</b>	<b>TIPO DE MODELO</b>	<b>MÉTODO DE SOLUCIÓN</b>	<b>AUTOR</b>
Terremoto	VRP	Determinístico	Método exacto	Rafael Avelin Alva Cabrera Cabrera and Avelino (2014)
General	VRP	Determinístico	Método exacto	Reyes Rubiano, Lorena S.; Quintero Araújo, Carlos L.; Torrea Ramos Reyes-Rubiano et al. (2014)
General	2E-VRP	Determinístico	Método exacto	Edna Lizet Gonzales Rodríguez González Rodríguez (2014)
Terremotos o Inundaciones	VRP	Estocástico	Metaheurística: SA	Ivo Erasmo Buzón Cantera, Ángel Ruiz Bartolomé y Jaime Mora VargasCantera et al. (2017)
Inundación	VRP	Determinístico	Método exacto	Lorena Silvana Reyes Rubiano Reyes Rubiano et al. (2015)
Terremotos	PVRPTW	Determinístico	Metaheurística: MA	Melissa Andrea Barreto Robles, Paula Nathalia Niño Barreto Robles and Niño Niño (2016)
General	CVRP	Estocástico	Método exacto	Toro Ocampo Eliana Mirledy , Franco Baquero John Fredy y Gallego Rendón Ramón Alfonso Toro-Ocampo et al. (2016)

Terremotos	PVRPTW	Determinístico	Método exacto	Carola Adriana Pareja Villegas Ximena María Rodríguez Leiva Pareja Villegas and Rodriguez Leiva
Terremoto	CVRP	Determinístico	Metaheurística: ABC	Andrés Ricardo Barrera Navarro, Angie Paola Hernandez GomezBarrera Navarro and Hernandez Gomez (2016)
General	MDVRP	Determinístico	Heurística	Gustavo Gatica, Nicolás Venegas, Rodrigo Linfati, Carlos Contreras-Bolton, Omar Opazo, John Willmer Escobar Gatica et al. (2017)
Terremotos	PVRPTW	Determinístico	Heurística	Renzo Alejandro Benavente Sotelo Benavente Sotelo (2016)
Terremoto	VRP	Determinístico	Metaheurística: MA	Karin Julieth Aguilar Imitola Aguilar Imitola (2017)
Terremoto	CVRP	Determinístico	Metaheurística: GA	Daniel Orlando Martínez Quezada Martínez Quezada (2017)
Terremoto	MDVRP	Determinístico	Método exacto	Renzo Alejandro Benavente Sotelo Benavente Sotelo
Terremoto o Inundación	VRP	Estocástico	Metaheurística: GA	Diana Carolina Constantino De La Espriella, Daniela Andrea Coronado Ríos, Diana Catherine Herrera Ortiz, Angie Yohana Wilches Duarte De La Espriella et al.

Terremoto	CVRP	Estocástico	Metaheurística: PSO	Deisy Mabel Vesga Chaparro, Sergio Andrés Villar Duarte Vesga Chaparro and Villar Duarte (2018)
General	2E-VRP	Determinístico	Metaheurística: GA	Angarita Monroy, Andres Guillermo Angarita Monroy (2018)
Sismos y terremotos	CVRP	Determinístico	Método exacto	Eduardo Barragán Acevedo, Ludwig Ben Roald Castañeda y Ever Ángel Fuentes Eduardo Barragán (2019)
TSUNAMI	VRP	Estocástico	Método exacto	Ayrton José Alejandro García Avellaneda García Avellaneda
Terremoto	CVRP	Estocástico	Metaheurística: PSO	Jorge Luis Embus Hurtado, Jeisson Fernando Martínez Castro Embus Hurtado and Martinez Castro (2019)
Terremoto	VRP	Estocástico	Metaheurísticas: PSO + GA	Mayra Alejandra Joya Millán, Tibusay Paola Tarazona Uribe Joya Millan and Tarazona Uribe (2019)
Terremoto	CVRP	Determinístico	Sistema Multi-Agente (SMA)	José Isidro Hernández Vega Hernández Vega (2019)
Terremotos, tifones, etc.	VRPPD	Determinístico	Heurística	Hsueh, Che Fu, Chen, Huey Kuo y Chou, Huey Wen Hsueh et al. (2008)

General	MDVRP	Difuso	Metaheurística	Gharib, Zahra and Bozorgi Amiri, Ali and Tavakkoli-Moghaddam, Reza and Najafi, Esmail Gharib et al. (2018)
Terremotos	VRP	Determinístico	Heurística	Stephanie Allen Allen (2017)
General	VRPPD	Determinístico	Heurística	Nader Al Theeb y Chase Murray Al Theeb and Murray (2017)
Inundación	SDVRP	Determinístico	Metaheurística	Cheng , Thompson Russell G , Costa Alysson y Huang Xiang Cheng et al. (2018)
General	VRP	Determinístico	Heurística	Th. Korkou, D. Souravlias, K.E. Parsopoulos, K. Skouri Korkou et al. (2016)
Terremotos	MDVRP	Determinístico	Metaheurística	Puca Huachi Vaz Penna, Andréa Cynthia Santos y Christian Prins Penna et al. (2018)
General	VRP	Determinístico	Metaheurística	Yi Wei Y Kumar Arun Yi et al. (2019)
General	DVRPTW	Estocástico	Metaheurística	Fethi Mguis, Kamel Zidi, Khaled Ghedira, y Pierre Borne Mguis et al. (2014)
Terremoto, inundación o tsunami	Covering Tour Problem (CTP)	Estocástico	Metaheurística	Nolz Pamela C , Doerner Karl F , Gutjahr, Walter J y Hartl Richard F Nolz et al. (2010)
General	SDVRP	Estocástico	Método exacto	Uslu Aycsenur , Cetinkaya Cihan y ISLEYEN, Selcuk Kursat USLU et al. (2017)

Terremoto	VRP	Estocástico	Metodo exacto	Begoña Vitoriano , Teresa Ortuño , Gre- gorio Tirado y Ja- vier Montero Vito- riano et al. (2011)
General	VRP	Determinístico	Metaheurísticas	Mahdi Alinaghian, Mohammad Aghaie, Mohammad S. Sab- bagh Alinaghian et al. (2019)
General	VRP	Estocástico	Heurística	Bruni M. , Beraldi P. y Khodaparasti Bru- ni et al. (2018)
General	(CVRP) y (SDVRP)	Determinístico	Heurística	Li Yinglei y Chung Sung Hoon Li and Chung (2019)
Terremoto	MDVRP	Estocástico	Método exacto	Wisetjindawat Wis- inee , Ito Hideyu- ki y Fujita Motohiro Wisetjindawat et al. (2015)
Terremoto	CVRP	Determinístico	Método exacto	Khare Abhinav , Batta Rajan y Kang Jee Eun Khare et al. (2020)
Terremoto	LPR	Estocástico	Heurística	Xiong Xiaowen , Zhao Fan , Wang Yundou y Wang, Yapeng Xiong et al. (2019)
Terremoto	VRPTW	Estocástico	Metaheurística	Yadollahnejad Vahid , Bozorgi-Amiri Ali y Jabalameli Moham- madsaeed Yadollah- nejad et al. (2017)
General	DVRPTW	Estocástico	Metaheurística	Mguis Fethi, Zidi Kamel , Ghedira Khaled y Borne -Pierre Mguis et al. (2012)

General	VRP	Determinístico	Metaheurística	Yi JiaoHong , Wang Jian y Wang Gai-Ge Jeisson Fernando Martínez Castro Yi et al. (2019)
General	VRPPD	Determinístico	Método exacto	Oruc Buse Eylul ,Kara Bahar YettisOruc and Kara (2018)
General	MDVRP	Estocástico	Metaheurística	Wang Xinyu , Choi Tsan-Ming , Liu Hai-kuo y Yue Xiaohang Wang et al. (2016)
General	VRPTW	Determinístico	Metaheurística	Wohlgemuth Sascha, Oloruntoba Richard y Clausen Uwe Wohlgemuth et al. (2012)
Inundación	VRPF	Difuso	Metaheurística	Li, Shouying and Zhou, Huijuan and Li, Yuanbo Li et al. (2016)

#### 4. Conclusiones

1. El modelo de ruteo más empleado es el clásico VRP.
2. En los últimos años se ha evidenciado el aumento de investigaciones de problemas de ruteo de vehículos aplicados a desastres naturales.
3. Entre las nuevas alternativas para desarrollar problemas de ruteo de vehículos aplicados a casos de desastre, se muestran los modelos de ruteo de vehículos difusos.

#### 5. Agradecimientos

Agradecemos al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (**FONDECYT**), por el financiamiento de este trabajo mediante el proyecto (**125-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV**), **MODELOS Y META HEURÍSTICAS PARA EL RUTEAMIENTO DEL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS Y COLECTA TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CONTEXTO DE LA LOGÍSTICA URBANA.**

## Referencias

- Compendio estadístico de prevención y atención de desastres. 2005.
- Karin Julieth Aguilar Imitola. *Un Modelo Multiobjetivo De Localizacion-Ruteo Para La Planeacion Logistica En La Fase De Preparacion A Sismos En Bucaramanga*. PhD thesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales, 2017.
- Nader Al Theeb and Chase Murray. Vehicle routing and resource distribution in postdisaster humanitarian relief operations. *International Transactions in Operational Research*, 24(6):1253–1284, 2017.
- Mahdi Alinaghian, Mohammad Aghaie, and Mohammad S Sabbagh. A mathematical model for location of temporary relief centers and dynamic routing of aerial rescue vehicles. *Computers & Industrial Engineering*, 131:227–241, 2019.
- Stephanie Allen. A two stage vehicle routing algorithm applied to disaster relief logistics after the 2015 nepal earthquake. *arXiv preprint arXiv:1709.00162*, 2017.
- Andres Guillermo Angarita Monroy. *Un Modelo Para La Localizacion De Depositos Centrales Y Ruteo De Vehiculos De Dos Escalones Aplicado A La Distribucion De Recursos Humanitarios Durante Las Fases De Pre Y Pos-Desastre (2e-Lrp)*. PhD thesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales, 2018.
- Andres Ricardo Barrera Navarro and Angie Paola Hernandez Gomez. *Un Algoritmo Evolutivo Para El Problema De Distribucion De Recursos Postdesastres Sismicos En La Ciudad De Bucaramanga*. PhD thesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales, 2016.
- Melissa Andrea Barreto Robles and Paula Nathalia Niño Niño. *Un Algoritmo Memetico Para El Problema De Localizacion-Ruteo Con Ventanas De Tiempo Para La Atencion De Desastres Sismicos En La Ciudad De Bucaramanga*. PhD thesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales, 2016.
- Renzo Alejandro Benavente Sotelo. Minimización del impacto social en la ayuda humanitaria ante un sismo en lima metropolitana y callao, optimizando la velocidad de respuesta ante los sectores damnificados, mediante el uso de modelos matemáticos en la redistribución de almacenes y un plan de ruteo eficiente.
- Renzo Alejandro Benavente Sotelo. Plan de ruteo para la distribución de ayuda humanitaria no alimentaria ante un terremoto de gran magnitud en lima metropolitana y callao. 2016.
- Kris Braekers, Katrien Ramaekers, and Inneke Van Nieuwenhuysse. The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99:300–313, 2016.
- ME Bruni, P Beraldi, and S Khodaparasti. A fast heuristic for routing in post-disaster humanitarian relief logistics. *Transportation research procedia*, 30:304–313, 2018.



- Alva Cabrera and Rafael Avelino. Plan de despacho para la distribución de ayuda humanitaria en caso de un terremoto de gran magnitud en lima metropolitana y callao. 2014.
- Ivo Erasmo Buzón Cantera, Ángel Ruiz Bartolomé, and Jaime Mora Vargas. Diseño de planes de contingencia ante desastres naturales: El caso de la distribución de ayuda humanitaria balanceada y su solución con técnicas de optimización clásicas y de vanguardia. *LIBRO: LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTROS: TENDENCIAS Y DESAFÍOS EN MÉXICO*, 1(1), 2017.
- Cheng Cheng, Russell G Thompson, Alysson M Costa, and Xiang Huang. Application of the bi-level location-routing problem for post-disaster waste collection. *City Logistics 2: Modeling and Planning Initiatives*, pages 97–115, 2018.
- Constantino De La Espriella, Diana Carolina, Daniela Andrea Coronado Ríos, Diana Catherine Herrera Ortíz, and Angie Yohana Wilches Duarte. Diseño de una técnica de solución para el problema de localización-inventario-ruteo en logística humanitaria.
- Ludwig Roald y Ever Fuentes Eduardo Barragán. Desarrollo de un modelo matemático de logística humanitaria con resiliencia para la gestión del riesgo en sismos y terremotos en cáqueza, cundinamarca. *Revista Ingeniería Solidaria*, 2019.
- Jorge Luis Embus Hurtado and Jeisson Fernando Martinez Castro. *Un Modelo Estocastico De Ruteo Para La Recoleccion De Escombros Post-Desastre En La Ciudad De Bucaramanga*. PhD thesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales, 2019.
- Ayrton José Alejandro García Avellaneda. Diseño de un plan de evacuación en caso de emergencia por tsunami en el distrito la punta usando métodos de optimización.
- Gustavo Gatica, Carlos Contreras Bolton, Nicolás Venegas, Omar Opazo, Rodrigo Linfati, and John Escobar. Una aplicación web, para asignación y ruteo de vehículos en caso de desastres. *ITECKNE: Innovación e Investigación en Ingeniería*, 14(1):62–69, 2017.
- Zahra Gharib, Ali Bozorgi-Amiri, Reza Tavakkoli-Moghaddam, and Esmaeil Najafi. A cluster-based emergency vehicle routing problem in disaster with reliability. *Scientia Iranica. Transaction E, Industrial Engineering*, 25(4):2312–2330, 2018.
- Bruce L Golden, Attila A Kovacs, and Edward A Wasil. Vehicle routing applications in disaster relief., 2014.
- Edna Lizet González Rodríguez. *Un modelo de optimización bi-nivel para enviar, recibir y distribuir ayuda en especie después de haber ocurrido un desastre natural*. PhD thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2014.
- Guillermo González Vargas, Felipe González Aristizábal, et al. Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. un caso de estudio. parte 1: formulación del problema. *Ingeniería e Investigación; Vol. 26, núm. 3 (2006); 149-156 Ingeniería e Investigación; Vol. 26, núm. 3 (2006)*, 2006.

- Flavio Gutierrez Guzman, Vladimir Navarro Castro, José Rodríguez Melquiades, Edwar Lujan Segura, and Flabio Gutierrez Segura. Estado del arte del ruteo de vehículos aplicado a desastres naturales en sudamérica. *Selecciones Matemáticas*, 7(02):340–353, 2020.
- Vera C Hemmelmayr, Jean-François Cordeau, and Teodor Gabriel Crainic. An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics. *Computers & operations research*, 39(12):3215–3228, 2012.
- José Isidro Hernández Vega. *Modelo basado en sistema multi-agente para distribución de ayuda en especie en logística humanitaria*. PhD thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2019.
- Che-Fu Hsueh, Huey-Kuo Chen, and Huey-Wen Chou. Dynamic vehicle routing for relief logistics in natural disasters. In *Vehicle routing problem*. IntechOpen, 2008.
- Mayra Alejandra Joya Millan and Tibusay Paola Tarazona Uribe. *Un Algoritmo Híbrico Para El Problema De Distribucion De Recursos Post-Desastres Sismicos Con Demandas Estocasticas En La Ciudad De Bucaramanga*. PhD thesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales, 2019.
- Abhinav Khare, Rajan Batta, and Jee Eun Kang. On the analysis of last-mile relief delivery on a tree network: Application to the 2015 nepal earthquake. *Journal of the Operational Research Society*, pages 1–17, 2020.
- Thomai Korkou, Dimitris Souravlias, Konstantinos Parsopoulos, and Konstantina Skouri. Metaheuristic optimization for logistics in natural disasters. pages 113–134, 2016.
- Gilbert Laporte. Fifty years of vehicle routing. *Transportation science*, 43(4):408–416, 2009.
- Shouying Li, Huijuan Zhou, and Yuanbo Li. Research on fuzzy dynamic location-routing problem of victim search in flood disaster. *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, 9(7):61–70, 2016.
- Yinglei Li and Sung Hoon Chung. Disaster relief routing under uncertainty: A robust optimization approach. *IIE Transactions*, 51(8):869–886, 2019.
- Daniel Orlando Martínez Quezada. *Diseño De Un Sistema De Apoyo A La Toma De Decisiones-Dss Para La Gestion De Las Etapas Pre-Desastre De Sismos En Bucaramanga, Basado En Tecnicas De Aprendizaje Automatico (Machine Learning)*. PhD thesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales, 2017.
- Linda Bibiana Rocha Medina, Elsa Cristina González La Rota, and Javier Arturo Orjuela Castro. Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. *Ingeniería*, 16(2):35–55, 2011.
- Fethi Mguis, Kamel Zidi, Khaled Ghedira, and Pierre Borne. Distributed approach for vehicle routing problem in disaster case. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(24):353–359, 2012.

- Fethi Mguis, Kamel Zidi, Khaled Ghedira, and Pierre Borne. Distributed and guided genetic algorithm for humanitarian relief planning in disaster case. In *Distributed Computing and Artificial Intelligence, 11th International Conference*, pages 149–156. Springer, 2014.
- Pamela C Nolz, Karl F Doerner, Walter J Gutjahr, and Richard F Hartl. A bi-objective metaheuristic for disaster relief operation planning. In *Advances in multi-objective nature inspired computing*, pages 167–187. Springer, 2010.
- Buse Eylul Oruc and Bahar Yetis Kara. Post-disaster assessment routing problem. *Transportation research part B: methodological*, 116:76–102, 2018.
- Carola Adriana Pareja Villegas and Ximena María Rodríguez Leiva. Determinantes del número de damnificados por causa de un terremoto en lima metropolitana y callao y contraste de medidas de respuestas a través de modelos de programación lineal entera para la distribución de bienes para ayuda humanitaria.
- Puca Huachi Vaz Penna, Andréa Cynthia Santos, and Christian Prins. Vehicle routing problems for last mile distribution after major disaster. *Journal of the Operational Research Society*, 69(8):1254–1268, 2018.
- Lorena S Reyes-Rubiano, Carlos L Quintero-Araújo, and Andrés F Torres-Ramos. Modelo matemático para la programación de personal especializado en logística humanitaria-post-desastre. *LACCEI 2014*, pages 1–7, 2014.
- Lorena Silvana Reyes Rubiano et al. Localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria post-desastre-caso inundaciones. Master’s thesis, Universidad de La Sabana, 2015.
- Eliana Mirledy Toro-Ocampo, John Fredy Franco-Baquero, and Ramón Alfonso Gallego-Rendón. Modelo matemático para resolver el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad considerando flota propia y subcontratada. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 17(3):357–369, 2016.
- Ayşenur USLU, Cihan Cetinkaya, and Selçuk Kürşat İŞLEYEN. Vehicle routing problem in post-disaster humanitarian relief logistics: A case study in ankara. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 35(3), 2017.
- Deisy Mabel Vesga Chaparro and Sergio Andres Villar Duarte. *Un Modelo De Programacion Estocastico-Objetivo Para La Entrega De Recursos A Los Albergues Ante Un Sismo En La Ciudad De Bucaramanga*. PhD thesis, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Estudios Industriales, 2018.
- Begoña Vitoriano, M Teresa Ortuño, Gregorio Tirado, and Javier Montero. A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global optimization*, 51(2):189–208, 2011.
- Xinyu Wang, Tsan-Ming Choi, Haikuo Liu, and Xiaohang Yue. A novel hybrid ant colony optimization algorithm for emergency transportation problems during post-disaster scenarios. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(4):545–556, 2016.

- Wisinee Wisetjindawat, Hideyuki Ito, and Motohiro Fujita. Integrating stochastic failure of road network and road recovery strategy into planning of goods distribution after a large-scale earthquake. *Transportation Research Record*, 2532(1):56–63, 2015.
- Sascha Wohlgemuth, Richard Oloruntoba, and Uwe Clausen. Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4):261–271, 2012.
- Xiaowen Xiong, Fan Zhao, Yundou Wang, and Yapeng Wang. Research on the model and algorithm for multimodal distribution of emergency supplies after earthquake in the perspective of fairness. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 2019.
- Vahid Yadollahnejad, Ali Bozorgi-Amiri, and Mohammadsaeed Jabalameli. Allocation and vehicle routing for evacuation operations: A model and a simulated annealing heuristic. *Journal of Urban Planning and Development*, 143(4):04017018, 2017.
- Jiao-Hong Yi, Jian Wang, and Gai-Ge Wang. Using monarch butterfly optimization to solve the emergency vehicle routing problem with relief materials in sudden disasters. *Open Geosciences*, 11(1):391–413, 2019.
- Wei Yi and Arun Kumar. Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6):660–672, 2007.