

Modelo de optimización de distribución de bienes de ayuda humanitaria ante los fenómenos de helada y friaje en el Perú

Robert Aduviri¹, Jorge Pasapera², Katherine Rodríguez³

Pontificia Universidad Católica del Perú

¹robert.aduviri@pucp.edu.pe, ²jspasapera@pucp.pe, ³katherine.rodriguez@pucp.pe

Resumen— Todos los años en el Perú se produce a entre los meses de mayo y setiembre aproximadamente, el fenómeno de la helada en la sierra, y el del friaje en la selva, los cuales ocasionan daños severos a la salud, educación, infraestructura, actividad agrícola y ganadera, principalmente a las poblaciones en situación de vulnerabilidad. Por ello, es importante establecer un procedimiento estándar que permita realizar las intervenciones de forma eficiente donde se establezcan acciones de preparación y respuesta ante este tipo de fenómenos. De acuerdo con la Presidencia del Consejo de Ministros, cada año se elabora un Plan Multisectorial ante Heladas y Friaje, con un análisis exhaustivo de diversos factores hacia actividades principales como la distribución de suministros para lo cual se cuenta con almacenes en todo el territorio nacional con el objetivo de distribuir adecuadamente recursos y ayuda a la población afectada. Sin embargo, la diversa cantidad de factores involucrados no asegura una distribución óptima de recursos al planearse de forma manual. Ante esta necesidad, se propone el uso de algoritmos de optimización, los cuales proporcionan un cálculo más eficaz y eficiente de un plan de distribución óptimo. En el presente trabajo se propone el análisis del problema de distribución de suministros para el caso de friaje con un modelo de optimización de redes de suministro con múltiples objetivos, con el cual se espera obtener decisiones que propongan una mejor atención de la población afectada y una mejor utilización de los recursos.

Palabras clave—Heladas y friaje, ayuda humanitaria, optimización de distribución, investigación de operaciones, programación lineal.

Abstract-- Every year in Peru, between May and September, a period of long cold weather in the highlands and the jungle causes severe damage to health, education, infrastructure, agricultural activity and animal husbandry, mainly to the population in situation of vulnerability. For this reason, it is important to determine a standard procedure that allows interventions to be carried out efficiently where actions to prepare and respond to this type of phenomena are established. According to the Presidency of the Council of Ministers, a Multisectoral Plan for this

phenomenon is prepared each year, with a comprehensive analysis of various factors towards major activities such as the distribution of supplies for which there are warehouses throughout the national territory with the objective of properly distributing resources and helping the affected population. However, the diverse number of factors involved does not ensure an optimal distribution of resources when planned manually. Hence, the possibility of using optimization algorithms provides a more efficient and effective calculation of an optimum distribution plan. In the present work, we propose the analysis of the problem of supply distribution for the phenomenon of long periods of cold weather with a supply network optimization model with multiple objectives, so that it will be possible to make decisions that may consider a better attention of the affected population and a better use of the resources.

Keywords—Frost and cold weather, humanitarian relief, distribution optimization, operations research, linear programming.

I. INTRODUCCIÓN

Cada año en el Perú, cuando acaba la estación lluviosa y empieza la seca entre los meses de abril a setiembre, se producen los fenómenos atmosféricos de la helada y el friaje en la sierra sur y selva del país respectivamente, caracterizados por un descenso en la temperatura que puede llegar incluso a niveles por debajo de los 0°C. Las heladas en la sierra suelen incluir nevadas y granizadas, mientras que en la selva se producen lluvias y fuertes vientos.

Las consecuencias que provocan son amplias. Entre ellas, una de las más lamentables es el aumento de las infecciones respiratorias (IRAs), principalmente la neumonía, que en ocasiones llega a provocar la muerte en las poblaciones vulnerables como son los niños y los adultos mayores. Adicionalmente se genera un mayor ausentismo escolar, enfermedades y muertes de los animales que son criados por las familias que viven en estas zonas, además de la pérdida

de los cultivos locales; estos dos últimos representan las fuentes de ingreso de estas familias, por lo tanto, su economía se ve afectada negativamente.

Ante esta situación, el gobierno ha tratado siempre de responder enviando ayuda a estos lugares. Desde el año 2012 se aprueba anualmente el Plan Multisectorial ante Heladas y Friaaje, este último año, por ejemplo, con las lecciones aprendidas después de lo ocurrido en verano debido al fenómeno del niño costero, el plan denominado “Antes Perú” se invirtió un monto superior a 100 millones de dólares. Tenía como fin hacer que varios ministerios entreguen kits de diversos artículos tales como frazadas, abrigos, vacunas ayuda para animales, etc., teniendo como objetivo la preparación y respuesta además de la prevención y reducción del riesgo ante el indicado fenómeno recurrente en dichas zonas. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos del gobierno, no se pudo evitar que en Puno ocurriera el fallecimiento de niños en Puno y que en esta misma región los casos de IRA se incrementasen en un 10% con respecto al 2016 (a pesar de que las neumonías bajaron en un 5%); o que en Arequipa más de 1800 personas y 26 mil animales resultaran afectados por las heladas; y así se pueden listar casos donde a pesar de hacer efectiva la entrega de kits, esto no es suficiente. Al igual que cada año, varios distritos fueron declarados en emergencia, acción que debería aplicarse solo en situaciones extraordinarias, lo cual evidencia una planificación deficiente en la que los recursos disponibles y los lugares a los que deberían ser entregados no están siendo asignados de la manera correcta.

Es importante en este caso la prevención por tanto se debe empezar la distribución de los kits de ayuda desde antes de que inicien estos fenómenos. Sin embargo, estando los lugares que más sufren con estos fenómenos alejados y siendo zonas de difícil acceso, el acceso es complicado.

En este escenario, la necesidad de una planeación eficiente es urgente, por ello el presente trabajo propone el uso de algoritmos que optimicen la distribución de los bienes de ayuda ante los fenómenos de helada y friaje en el Perú.

II. MARCO TEÓRICO

Se puede definir a las heladas como fenómenos que afectan principalmente a los poblados en la región andina del país, caracterizada por descensos bruscos de temperatura. Como consecuencia, puede ocasionar enfermedades de carácter respiratorio en la población más vulnerable. Asimismo, se puede considerar que los friajes actúan de forma similar, con

la diferencia de que este fenómeno se produce en la región amazónica del país. [1]

Debido a que pueden existir una diversa variedad de recursos a distribuir para enfrentar estos fenómenos, es importante resaltar la importancia de la utilización de la investigación de operaciones en los problemas de distribución de recursos, ya que mediante algoritmos se puede hallar, planes de asignación y distribución óptimos, las cuales permiten una distribución máxima de recursos de ayuda, utilizando el menor costo y tiempo posibles. [2]

Tal es así que durante las últimas décadas se ha visto un incremento en la utilización de dichos métodos, y el gran número de aplicaciones reales, principalmente en Norteamérica y Europa, han mostrado que el uso de procedimientos automatizados mediante el uso de modelos matemáticos para los procesos de planificación de distribución produce ahorros sustanciales (generalmente entre el 5% y 20%) en los costos totales de transporte. [3]

Sin embargo, el uso de la investigación de operaciones en temas como cadenas de suministro comercial ha sido aplicada principalmente en la industria, gracias a la gran competitividad presente que impulsa el crecimiento de áreas de investigación y desarrollo para mantener un factor diferencial [4], mientras que el dominio de las cadenas de suministro de ayuda humanitaria no presenta el mismo nivel de desarrollo [5].

A pesar de ello, en los últimos años se ha podido ver un crecimiento en la investigación relacionada o modelos de optimización en logística de emergencia [6], resaltando principalmente modelos de optimización de ubicación de almacenes [7] [8] y modelos de optimización de distribución de bienes de ayuda humanitaria [9] [10].

En el caso del Perú, también se ha visto investigación relacionada al tema, principalmente enfocada en la optimización de planes de distribución de ayuda humanitaria ante terremotos de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao, tomando en consideración tanto recursos no alimentarios [11] como genéricos [12]. En ambos casos se aborda el problema como un Problema de Enrutamiento de Vehículos (VRP) y se presentan soluciones basadas en heurísticas clásicas, bajo restricciones de capacidades de transporte y tiempos.

III. SITUACIÓN ACTUAL

Debido a la naturaleza periódica de las heladas y friajes, cada año en el Perú se realiza el Plan Multisectorial ante Heladas y Frijaje [1], que comprende la participación de diversos organismos del Estado Peruano, como el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), los Ministerios de Salud, Vivienda, Educación, Agricultura y Riego (AGROPECUARIO) y el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). En la fase inicial del proceso de planificación anual, dichas entidades proporcionan información para la determinación de las zonas de intervención, los cuales consisten en diversos indicadores tales como: rangos de temperatura, índice de daños de salud (tasa de mortalidad por neumonías y tasa de neumonías), desnutrición crónica infantil en niños menores de 5 años, indicador del material predominante de las viviendas, porcentaje de instituciones educativas con escasa capacitación, número de locales escolares sin acondicionamiento térmico, número de locales escolares con

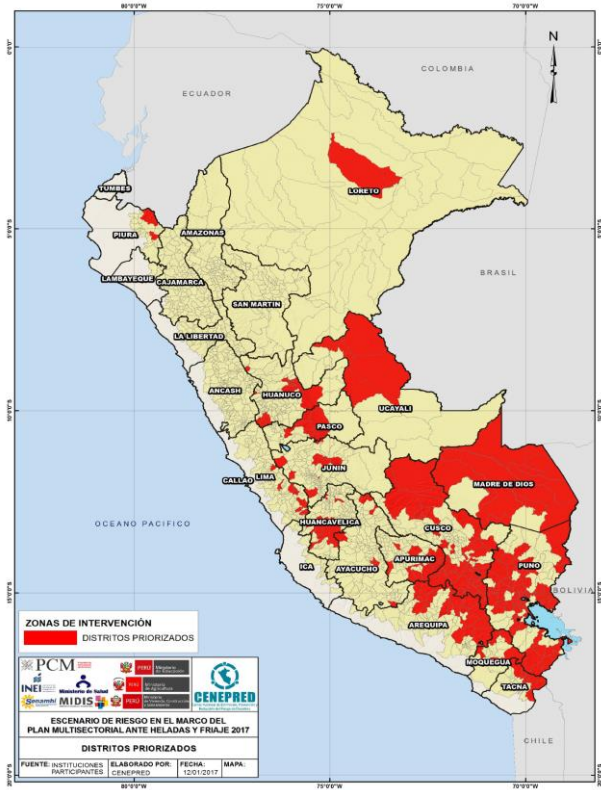


Figura 1: Distritos priorizados para la intervención ante heladas y friajes durante el 2017

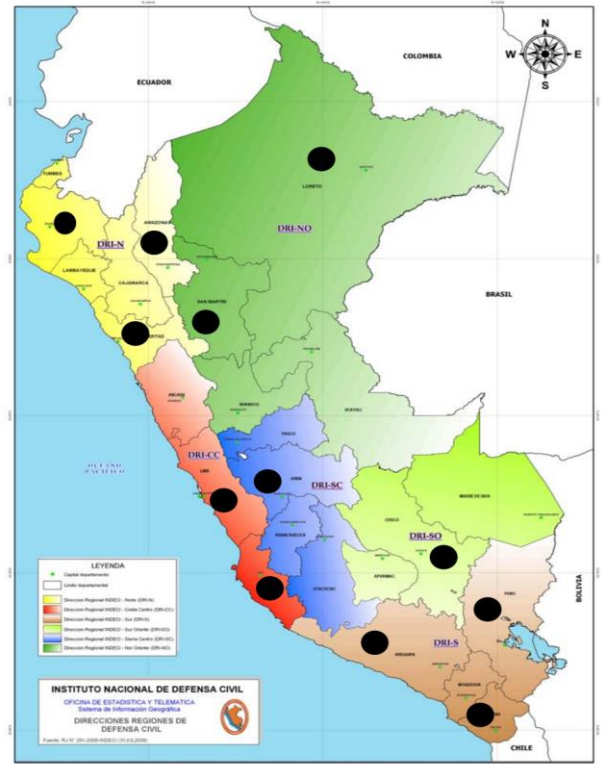


Figura 2: Ubicación de almacenes regionales en el territorio nacional

infraestructura en riesgo ante heladas (para instalación de aulas prefabricadas), pobreza extrema, analfabetismo, así como la dificultad de accesibilidad del Estado. Todos estos niveles de susceptibilidad y exposición socioeconómicos son considerados para el cálculo de la probabilidad de riesgo por distrito, como parte de la elaboración del escenario de riesgos y la priorización de las zonas de intervención. De esta manera, en el año 2017 se identificaron los 193 distritos con zonas más críticas ante heladas en 13 departamentos de la zona alto andina del país, así como 48 distritos más críticos ante el fenómeno de friaje en 9 departamentos de la zona de selva del país. En la Figura 1 se pueden apreciar los distritos priorizados y designados para la intervención ante heladas y friajes. Finalmente, a partir de la información demográfica de la población de cada zona, se puede estimar su respectiva demanda de bienes de ayuda para la preparación ante tales fenómenos, distinguiendo la población menor a 5 años, así como la población de 60 años a más.

Para la distribución de los bienes de ayuda, se tiene 12 almacenes regionales distribuidos en el territorio nacional [13]. Estos almacenes se encuentran ubicados en los

N°	ENTIDADES	BIENES Y SERVICIOS	CANTIDAD	PRESUPUESTO ESTIMADO
1	MIMP	Kits de abrigos	214,967	11,050,000
		Frazadas	82,880	
2	MINAGRI	Kit veterinario	7,110	8,569,308
		Kits de alimento	3,428	
		Kits de semillas de cultivo	3,274	
		Kits de semillas de pastos	3,503	
		Kits de abono foliar	1,393	
		Módulos de cobertizos	40	
3	MINSA	Fortalecimiento de la capacidad resolutive de los establecimientos de salud priorizados. - Mantenimiento preventivo y correctivo de las ambulancias - Adquisición de generadores de oxígeno	-	3,488,400
		Compra y distribución de vacunas (neumococo e influenza) para prevención de neumonía en niños menores de 05 años, gestantes y adultos mayores	-	15,756,203
		Medicamentos e insumos para la atención ante emergencias y desastres por heladas y friajes 2017.	-	105,000
		Desplazamiento de brigadas de salud y atenciones realizadas ante emergencias y desastres por heladas y friajes	-	179,400
		Actividades sostenibles de acuerdo a funciones MINSA	-	774,431
4	MVCS	Viviendas mejoradas	1,784	37,767,636
5	MINEM	Proyectos de electrificación rural	5	1,902,123
6	MINEDU	Kit pedagógicos (SSE . ACT, LÚD.)	6,480	2,720,000
		Aulas prefabricadas ante heladas (transporte)	200	2,813,460
		Adquisición kits pararrayos	-	1,965,000
		Acondicionamiento térmico ambiental escuelas unidocentes seguras	12	5,018,402
7	MTC (PROV. DES)	Mantenimiento periódico de un camino vecinal que da acceso al tambo Cota Cota de una longitud de 32.33 km	-	1,100,000
		Estudio definitivo de ingeniería para la rehabilitación de un camino vecinal de una longitud de 26.80 km, que da acceso al tambo Ancasi	-	
8	MIDIS	Foncodes		
		Acondicionamiento de viviendas calientes	1,141	10,334,059
		Programa Haku-Wiñay de Foncodes		1,120,000
		Cocinas mejoradas	3,200	
		Bidones con grifo	3,200	
		Teteras para agua segura	3,200	
		Programa nacional cuna más		
		Mantenimiento local por emergencia ante desastres naturales (servicio cuidado diurno)	47	590,967
		Kit de prácticas en situación de emergencia (servicio de acompañamiento familia)	20,375	713,125
		Programa Tambos (69): operatividad y articulación de acciones		824,614
9	SENAMHI	Instalación de 240 termohigrografos digitales para la recolección de información de temperatura del aire y humedad.	-	150,000
		Emisión de avisos meteorológicos de heladas y friajes a nivel nacional	-	
		Generación de mapas por bajas temperaturas para la elaboración de escenarios de riesgo.	-	80,000
10	ONAGI	Capacitación a la red de autoridades políticas	-	316,570
		Empadronamiento de la población beneficiaria	-	
		Almacenamiento y distribución de los kits de abrigo	-	
11	SGRD-PCM	Seguimiento	-	50,000
TOTAL				S/ 107,388,698

Tabla 1: Cuadro resumen de presupuestos de los sectores y organismos públicos involucrados en el Plan Multisectorial ante Heladas y Friaaje 2017

departamentos de Piura, Amazonas, La Libertad, Lima, Ica, Junín, Arequipa, Puno, Tacna, Cusco, San Martín y Loreto. En la Figura 2 se puede observar, la ubicación de cada uno de estos almacenes, respectivamente.

Los bienes de ayuda se distribuyen a las regiones más críticas. Cada una de estas regiones cuenta con “tambos” o locaciones de entrega, en los cuales se almacenan los recursos de ayuda provenientes de los almacenes regionales. En la región de Puno se cuenta con 20 de estos tambos, 10 en Apurímac, 8 en Arequipa, 6 en Ayacucho, 25 en Cusco, 7 en Huancavelica, 3 en Huánuco, 9 en Junín, 7 en Lima, 4 en Moquegua, 3 en Pasco, 3 en Ucayali, 2 en Piura, 5 en Tacna y 9 en Madre de Dios.

Dada la intervención multisectorial, los bienes a distribuir son de variada naturaleza, incluyendo kits de abrigo, kits de alimento, medicamentos, kits pedagógicos, entre otros. El detalle la cantidad de recursos a distribuir por cada ministerio o entidad encargada para el 2017 se encuentra en el cuadro resumen de presupuestos de los sectores y organismos públicos involucrados en el Plan Multisectorial ante Heladas y Frijaje 2017, como muestra la Tabla 1.

IV. DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PROPUESTO

El presente estudio busca optimizar la distribución de ayuda humanitaria a los diversos centros poblados afectados por las heladas y friajes en el Perú. Durante el estudio, se está considerando que la ayuda sigue una red de distribución con diversos nodos, en la cual existen nodos que representan la ubicación de un tambo, el cual es el destino final de la distribución a gran escala, así como nodos que representan almacenes nacionales y regionales ubicados en el territorio nacional, que es de donde parte la ayuda. Asimismo, se consideran diferentes tipos de vehículos y diferentes tipos de artículos a transportar, los cuales serán transportados a lo largo de un número definido de días. Con estos datos, se plantea un modelo de transbordo multi-producto y multi-período, basado en el planteamiento de Clark et al. [14]. El detalle de la formulación se presenta a continuación:

A. Conjuntos

K: conjunto de nodos de la red de distribución

I: conjunto de tipos de bienes a transportar

V: conjunto de tipos de vehículos

B. Parámetros

T: número de días en el horizonte de planificación

Inv_{ki}^0 : inventario inicial del artículo i en el nodo k

D_{kit} : demanda del artículo i en el nodo k en el día t

DN_{ki}^0 : demanda no satisfecha del artículo i en el nodo k

$CapV_v$: máxima capacidad que cada tipo de vehículo v puede transportar

$VDisp_{kvt}$: número de vehículos de tipo v disponibles en el nodo k en el tiempo t

TL_{kjt} : tiempo de llegada del nodo k al nodo j usando un vehículo de tipo v

$Transp_{kji}^0$: cantidad del artículo i ya enviado desde el nodo k al nodo j usando vehículos de tipo v

CF_{kjt} : costo fijo de transporte usando un vehículo de tipo v para desplazarse entre el nodo k y el j

W_i : peso de cada artículo i

$CapN_k$: capacidad de cada nodo k

P_k : prioridad de distribución para el nodo k

C. Variables de decisión

$Transp_{kji}^t$: cantidad de artículos de tipo i enviados desde el nodo k al nodo j usando vehículos de tipo v en el día t

Veh_{kjt} : cantidad de vehículos de tipo v enviados desde el nodo k al nodo j en el día t

Inv_{kit} : inventario del artículo i en el nodo k en el día t

DN_{kit} : demanda no satisfecha del artículo i en el nodo k en el día t

D. Función objetivo

Dado que se desea que el modelo considere no solo el costo de transporte sino la demanda satisfecha, la función objetivo contiene ambos factores. Asimismo, dado que además es importante minimizar el inventario sobrante en cada almacén

para que los bienes de ayuda humanitaria se aprovechen al máximo, también se incluye dicho factor. Todo lo anterior da como resultado la siguiente función objetivo multi-objetivo:

$$\min \sum_{kit} P_k DN_{kit} + \alpha \sum_{kjt} CF_{kjv} Veh_{kjt} + \beta \sum_{kit} Inv_{kit} \dots (1)$$

Los factores α y β se utilizan para definir un nivel de prioridad para cada factor de la función objetivo.

E. Restricciones

Las primeras restricciones tienen como objetivo establecer las condiciones iniciales de la demanda no satisfecha y el inventario al final del día 0:

$$DN_{ki0} = DN_{ki}^0, \text{ para cada nodo } k \text{ y artículo } i \dots (2)$$

$$Inv_{ki0} = Inv_{ki}^0, \text{ para cada nodo } k \text{ y artículo } i \dots (3)$$

La siguiente restricción define la cantidad de bienes que se encuentran actualmente en tránsito en el día 0. Esto con el fin de utilizar el modelo nuevamente en la mitad del proceso de distribución de ayuda humanitaria:

$$Transp_{kji0} = Transp_{kji}^0, \text{ para cada nodo } k \text{ y } j, \text{ vehículo de tipo } v \text{ y artículo } i \dots (4)$$

La próxima restricción establece el balance entre oferta y demanda en cada nodo de la red de distribución, considerando también el nivel de inventarios a lo largo del tiempo:

$$\begin{aligned} \sum_{jv} Transp_{jkvi,t-TL_{jkv}} + Inv_{ki,t-1} - DN_{ki,t-1} = \\ \sum_{jv} Transp_{kjvit} + Inv_{kit} - DN_{kit} + D_{kit} \end{aligned} \dots (5)$$

, para cada nodo k , artículo i y día t

Además del balance de oferta y demanda, es necesario restringir que se transporten a lo más la cantidad de bienes que ya había en el inventario o que acabe de llegar, lo cual se da en la siguiente restricción:

$$\sum_{jv} Transp_{kjvit} \leq \sum_{jv} Transp_{jkvi,t-TL_{jkv}} + Inv_{ki,t-1} \dots (6)$$

, para cada nodo k , artículo i y día t

La siguiente restricción asegura que haya suficientes vehículos para transportar los bienes entre los nodos:

$$\sum_i Transp_{kjvit} W_i \leq Veh_{kjt} CapV_v$$

, para cada nodo k y j , vehículo de tipo v y día $t \dots (7)$

Asimismo, es necesario asegurar que el peso de los bienes a distribuirse se encuentre dentro de la capacidad de cada nodo k , lo cual se da con la siguiente restricción:

$$\sum_i Inv_{kit} W_i \leq Cap_k$$

, para cada nodo k y día $t \dots (8)$

Finalmente, se restringe que solo se utilice a lo más la cantidad de vehículos disponibles previamente definida:

$$\sum_i Veh_{kijt} \leq VDisp_{kvt}$$

, para cada nodo k , tipo de vehículo v y día $t \dots (9)$

V. RESULTADOS

El modelo fue implementado usando el lenguaje AMPL. Para la asignación de los parámetros descritos en el modelo se realizó un proceso de extracción de información a partir de datos disponibles en el Plan Multisectorial ante Heladas y Friaie 2017 [1], así como el portal del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) [15]. Dentro de ellos se encontraba información sobre el nivel de riesgos por heladas y friaje según distritos, así como el listado de tambos (puntos de demanda) priorizados en el Plan Multisectorial 2017, con los cuales fue posible determinar 53 puntos de demanda a usar por el modelo. Asimismo, se obtuvo la información de los almacenes nacionales y regionales disponibles a partir del compendio estadístico de prevención y desastres del INDECI [16], con el que se obtuvo un total de 17 puntos de oferta, los cuales se pueden visualizar junto a las conexiones entre ellos en el diagrama de red de la Figura 3. Una vez obtenida esta información se automatizó la extracción de las coordenadas geográficas de los puntos de oferta y demanda con el uso de Google Maps Geolocation API [17] para obtener latitudes y longitudes a partir de nombres de ubicaciones. De igual manera, para calcular el costo de transporte entre dos puntos, se utilizó Google Maps Directions API [18] para obtener la distancia entre pares de puntos de una manera más precisa que distancias en línea recta. Finalmente, se consideraron 4 tipos de bienes de ayuda humanitaria a repartir, 3 tipos de vehículos de diferente capacidad y un horizonte de 20 días.

El modelo fue ejecutado en un computador con procesador Intel Core i7-4510U @2.00 GHz 2.60 GHz y 8.00 GB de RAM. Con los parámetros de la red y los otros parámetros descritos anteriormente, se generaron un total de 45,465 variables y 25,666 restricciones. Para utilizar el modelo sobre dicha instancia, se utilizó el solver open source GNU Linear Programming Kit (GLPK) [19], el cual ejecutó el modelo en 109.9 segundos y utilizó 88.7 MB de memoria.

Tal como queda expresado en las variables de decisión, el modelo retornó el plan de distribución desde los almacenes a los tambos en el horizonte de 20 días. A partir de la función objetivo, se buscó priorizar la reducción de la demanda insatisfecha en los tambos a lo largo de los días, lo cual se puede visualizar en la Figura 4, con la información agrupada por departamentos.

A partir de esta información, es posible determinar qué puntos de demanda se atienden primero, lo cual se puede ajustar con los parámetros de prioridad de distribución por cada punto de demanda con el fin de evaluar distintos escenarios. De la misma manera, también se puede extraer

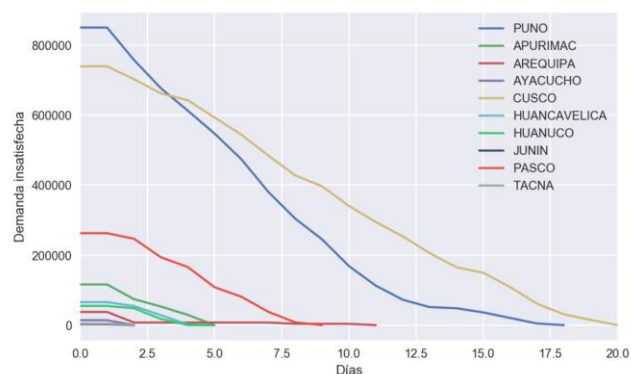


Figura 4: Reducción de la demanda insatisfecha a lo largo de los días asignados para la distribución

información del número de vehículos necesarios para llevar a cabo la distribución, así como el nivel de los inventarios de los almacenes en cada día de la distribución.

VI. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado el diseño y la implementación de un modelo de programación lineal para optimizar la distribución de ayuda humanitaria ante los fenómenos de heladas y friaje en el Perú. Se ha conseguido utilizar el modelo con data del tamaño de la situación real considerando diversos tipos de bienes a repartir, diferentes tipos de vehículos y múltiples períodos para la distribución en un tiempo bastante razonable. A partir de ello, se puede concluir que es viable la utilización de modelos de programación lineal para la toma de decisiones orientada a la distribución de ayuda humanitaria, permitiendo evaluar distintos escenarios, sea al comienzo o durante una intervención, y establecer prioridades en la distribución, mediante el ajuste de los pesos en la función objetivo. Finalmente, el modelo puede ser utilizado y extendido para otras situaciones de distribución de bienes de ayuda humanitaria, pudiendo así conseguir tomar mejores decisiones y responder de una manera más óptima ante desastres imprevistos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Presidencia del Consejo de Ministros, Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres, «Plan Multisectorial ante Heladas y Friaie 2017,» Lima, 2017.

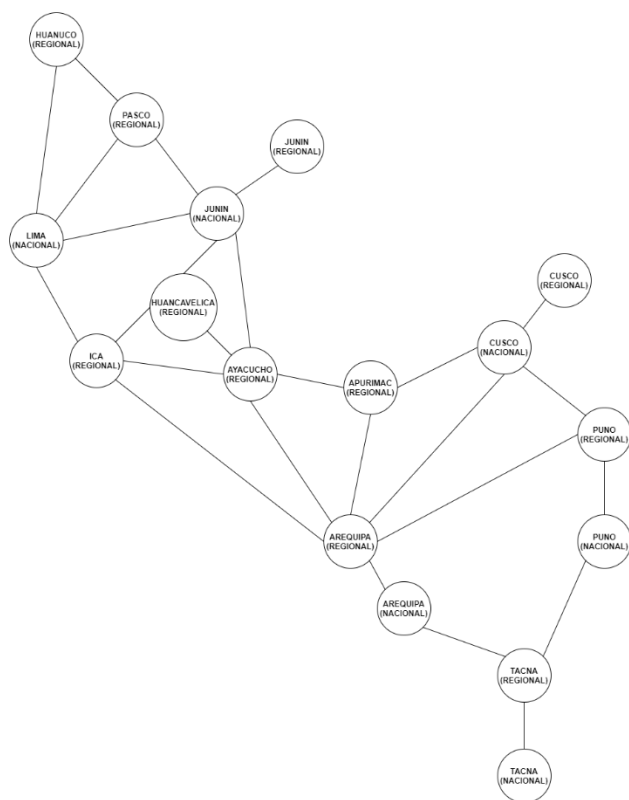


Figura 3: Red de almacenes regionales y nacionales para la distribución de ayuda humanitaria

- [2] F. Hillier, Introduction to Operations Research, McGraw-Hill, 2015.
- [3] P. Toth y D. Vigo, The Vehicle Routing Problem, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2004.
- [4] C. Peñaranda Castañeda, Agenda económica para el cambio: crecer con menos pobreza e inequidad, Lima: Banco de Comercio, Cámara de Comercio, 2008.
- [5] B. Balcik, B. Beamon, C. Krejci, K. Muramatsu y M. Ramirez, «Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities,» *International Journal of Production Economics*, vol. 126, n° 1, pp. 22-34, 2010.
- [6] A. M. Caunhyea, X. Nieu y S. Pokharel, «Optimization models in emergency logistics: A literature review,» *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 46, n° 1, pp. 4-13, 2012.
- [7] B. Balcik y B. Beamon, «Facility location in humanitarian relief,» *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 2008.
- [8] H. Jia, F. Ordóñez y M. Dessouky, «A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies,» *IIE Transactions*, pp. 41-45, 2005.
- [9] M. Horner y D. JA, «Optimizing hurricane disaster relief goods distribution: model development and application with respect to planning strategies,» *Disasters*, 2010.
- [10] B. Vitoriano, M. Ortuño, G. Tirado y J. Montero, «A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution,» 2011.
- [11] R. Benavente, «Plan de ruteo para la distribución de ayuda humanitaria no alimentaria ante un terremoto de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2017.
- [12] R. Alva, «Plan de despacho para la distribución de ayuda humanitaria en caso de un terremoto de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2015.
- [13] INDECI, «Plan Logístico INDECI AF-2013 para ayuda humanitaria ante emergencias o desastres,» Lima, 2013.
- [14] A. Clark y B. Culkin, «A network transshipment model for planning humanitarian relief operations after a natural disaster,» *Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies*, vol. 7, pp. 233-257, 2013.
- [15] Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, «Escenario de Riesgo ante Heladas y Friaaje 2017,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.cenepred.gob.pe/web/escenario-de-riesgo-ante-heladas-y-friaaje-2017>.
- [16] INDECI, «Compendio Estadístico de Prevención y Desastres,» 2007. [En línea]. Available: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1258/doc1258-contenido.pdf>.
- [17] Google Developers, «Google Maps Geolocation API,» [En línea]. Available: <https://developers.google.com/maps/documentation/geolocation/intro>.
- [18] Google Developers, «Google Maps Directions API,» [En línea]. Available: <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/>.
- [19] GNU, «GNU Linear Programming Kit - GLPK,» [En línea]. Available: <https://www.gnu.org/software/glpk/>.
- [20] J. Ray, «Multi-period linear programming model for optimally scheduling the distribution of food-aid in West Africa,» Knoxville, 1987.