

Ubicación de almacenes para ayuda humanitaria posterior a un terremoto en una ciudad Latinoamericana

Lucy Aragón Casas

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, laragonc@pucp.edu.pe

Wilmer Atoche Díaz

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, watoche@pucp.edu.pe

Christian Cornejo Sánchez

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, cscornejo@pucp.edu.pe

Jorge Vargas Florez

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, jorge.vargas@pucp.edu.pe

RESUMEN

El presente artículo contempla la ubicación estratégica de los almacenes de logística humanitaria para los damnificados en caso de terremotos en Lima y Callao, Perú.

Se identifica las zonas de alto riesgo por distrito dentro de la ciudad, luego se estima los daños causados por un terremoto de 8MM de intensidad y se determina el número de damnificados; luego, se calcula la capacidad de almacenamiento para atender a cada zona afectada y finalmente se realiza la ubicación óptima de los almacenes en las zonas seguras aledañas a los distritos más vulnerables.

Se concluye que la ubicación óptima de los almacenes disminuye el tiempo de respuesta de ayuda a los damnificados para las horas posteriores al terremoto.

Palabras claves: terremotos, almacenes, damnificados, logística humanitaria.

ABSTRACT

This article seeks to present a determine strategic location for warehouses, these warehouses would hold supplies for earthquake victims in Lima and Callao, Peru.

The model identifies high-risk areas by district within the city, then estimates damage of an 8 MM earthquake determines the number of victims, then calculate the storage capacity to be used to every affected area and finally makes the optimum location of warehouses in secure areas surrounding the most vulnerable districts. We conclude that optimal location of warehouses decrease the response time to help the victims after an earthquake.

Keywords: earthquakes, warehouses, homeless, humanitarian logistics.

1. INTRODUCCIÓN

Los desastres naturales ocurren frecuentemente. En el caso de los terremotos y de acuerdo a su intensidad afectan a gran número de personas y ocasionan daños materiales de consideración. En el Perú, el terremoto más reciente es el de Pisco en agosto del 2007, de magnitud 7.9 en la escala de Richter, que dejó 519 muertos, 1291 heridos, 219,826 afectados y gran cantidad de viviendas destruidas.

Los desastres requieren una respuesta inmediata de logística humanitaria. Para que esta respuesta sea eficiente y eficaz, es necesario que se tomen una serie de decisiones y acciones administrativas antes y después del desastre.

El presente artículo trata específicamente de las decisiones de previsión a tomar frente a un terremoto de magnitud superior a 8 grados, por ocurrir en la ciudad de Lima y Callao.

La logística de ayuda humanitaria tiene por objetivo brindar una respuesta inmediata y de manera eficiente. La ubicación de los almacenes donde se guardarán los materiales de ayuda (como agua, medicinas, alimentos y materiales de abrigo) es uno de los aspectos importantes de la previsión de la cadena de suministro.

Otros aspectos importantes para lograr una respuesta inmediata y eficaz, son la adecuada implementación de los almacenes con los materiales en la cantidad y calidad necesarias. La distribución inmediata a los centros de acopio o campamentos.

La modelación matemática para ubicar los almacenes es parte del presente artículo cuya finalidad es lograr una mejor capacidad de respuesta logística ante un terremoto, para no repetir los errores de previsión y administración observados en el caso del terremoto de Pisco.

1.1 REVISIÓN DE LA LITERATURA

La logística de ayuda humanitaria ha recibido especial atención en los últimos años. Un estudio sobre este tema fue presentado por Oloruntoba y Gray (2006), los autores investigaron la naturaleza de la cadena de suministro humanitaria y la compararon con la cadena de suministro comercial. En el 2007 Thomas revisa el estado actual de la logística en el campo de la ayuda humanitaria. En el estudio identifica los factores que han limitado la evolución del conocimiento y el desempeño de las cadenas de suministro de ayuda humanitaria. Como un ejemplo de un estudio específico esta el trabajo de Pujawan et al. (2009). Los autores proponen un principio para la gestión de la cadena de suministro en operaciones de ayuda en caso de desastre. Los resultados del estudio señalan que las operaciones de ayuda humanitaria presentan en general falta de profesionales de logística y deficiencias en la coordinación. Además de los estudios realizados por los investigadores, las organizaciones de ayuda, como la Organización Panamericana de la Salud (PAHO 2001), han desarrollado, a lo largo de los años, manuales donde se describe los procedimientos generales seguidos por varios sectores del campo de la ayuda humanitaria.

A continuación se revisará los estudios que tratan los diversos problemas logísticos en los casos de ayuda humanitaria con el uso de modelos matemáticos. Seguidamente se revisará algunos estudios realizados sobre ubicación geográfica de instalaciones, específicamente aquéllos que consideramos los más relevantes para este artículo.

1.1.1 LA LOGÍSTICA DE AYUDA HUMANITARIA

El presente trabajo no pretende brindar una completa revisión de la literatura, en lugar de ello se va a revisar aquellos trabajos de investigación que mejor representan la gran variedad de modelos matemáticos utilizados en problemas relacionados a la logística de ayuda humanitaria.

Muchos estudios buscan optimizar el flujo de suministros (para la ayuda humanitaria) a través de las redes existentes de distribución. Por ejemplo, Kanott (1987) desarrolló un modelo de programación lineal para determinar el número de viajes que se debe realizar desde los centros de distribución hacia los campos de refugiados. En ese modelo el objetivo consiste en satisfacer la demanda y minimizar el costo del transporte (o maximizar la cantidad de comida entregada). Este mismo autor, luego desarrollo un modelo heurístico con técnicas de inteligencia artificial para resolver el mismo problema.

Con el objetivo de determinar un cronograma de recojo y entrega de productos básicos que deben ser transportados por vehículos desde los almacenes hasta áreas afectadas, Ozdamar et al. (2004) desarrollaron un modelo que minimiza la cantidad de la demanda insatisfecha a lo largo del tiempo. El modelo también permite calcular las cantidades de los productos que deben ser transportados en los viajes. El modelo también permite generar nuevos planes basados en los cambios de la demanda, cantidades de suministros y capacidad de la flota de transporte.

La localización de instalaciones es otro problema ampliamente estudiado por los investigadores. Cooper (1963) presentó un método para decidir dónde localizar instalaciones para responder a emergencias y a la vez asignar la demanda a dichas instalaciones, utilizando de manera efectiva los recursos. Logendran y Terrell (1998) introdujeron un modelo estocástico sin capacidad para localizar instalaciones, en este modelo los autores consideran que la demanda es una variable aleatoria.

Un modelo para elegir la ubicación geográfica de centros de distribución y asignación en un sistema de multi-producto fue desarrollado por Nozick y Turnquist (2001). Este modelo puede decidir qué productos deben ser almacenados en el almacén central, qué productos en el centro de distribución regional y cuáles no deben ser almacenados. El estudio propone un enfoque iterativo que resuelve el problema de ubicación y almacenamiento para un número determinado de instalaciones.

Beamon y Kotleba (2006a) desarrollaron una estrategia de administración de inventarios para un almacén que soporta una operación de ayuda para períodos largos. Los autores desarrollaron un modelo que optimiza la cantidad de pedidos y el nivel de inventarios basado en los costos. Los mismos autores (2006b) continuaron este estudio y compararon tres estrategias de administración de inventarios para el mismo problema.

En el 2008, Balci y Beamon proponen una variación del modelo de máxima cobertura que integra las decisiones de dónde ubicar los almacenes y la cantidad de inventario a mantener en ellos. Así también, el modelo considera múltiples productos, restricciones de capacidad y presupuesto. Los autores plantean el modelo considerando que algunas organizaciones optan por una estrategia de ubicar sus almacenes en algunos países para atender las emergencias que se presentan en diversas partes del mundo.

1.1.2 EL PROBLEMA DE COBERTURA

Las técnicas de investigación de operaciones han sido aplicadas a una gran variedad de problemas para determinar la óptima ubicación geográfica de instalaciones (Owen y Daskin, 1998). En el sector privado el objetivo de los modelos de localización son generalmente minimizar los costos y maximizar el beneficio. A diferencia de ello, en el caso de ayuda humanitaria se busca optimizar la accesibilidad y el tiempo de respuesta (Marianov y ReVelle, 1995). Entre ambos modelos matemáticos de localización, el modelo de cobertura se adecua más a los problemas cuando el tiempo de respuesta es el criterio más importante (Schilling et al., 1993).

Los modelos localización de cobertura, buscan elegir las instalaciones en los lugares disponibles, de modo que la demanda sea cubierta. El modelo de cobertura fue originalmente introducido por Toregas et al. (1971). El autor

utiliza programación lineal entera para minimizar el número de ambulancias necesarias para cubrir todos los puntos de la demanda.

Un modelo alternativo fue introducido por Church y ReVelle (1974), denominado Modelo de Localización de Máxima Cobertura. Este modelo maximiza la población cubierta sujeta a una limitada disponibilidad de ambulancias. En general, los modelos de máxima cobertura, maximizan el total de personas servidas dentro de una distancia máxima, dado el número fijo de instalaciones o limitaciones de presupuesto. Un ejemplo de una variación de este modelo es el estudio de Haghani (1996) donde desarrolla un modelo de localización de máxima cobertura capacitado pero permitiendo asignación múltiple. Según este modelo la demanda de los clientes puede ser servida por varias instalaciones debido a que las variables de asignación son continuas.

2. MODELOS Y RESULTADOS

El modelo se trabaja en dos etapas:

La primera etapa se trata de un modelo de programación lineal y la segunda etapa es un modelo heurístico.

En la primera etapa, se establece un modelo de cobertura por afinidad geográfica de los distritos, se tiene como datos de entrada la tabla 1; estos datos de entrada nos dan información para determinar los *clusters* de ubicación de las zonas de atención por los almacenes de ayuda humanitaria. Se utilizó LINGO 11 para el modelo de programación lineal mostrado en el lenguaje.

```
MODEL:
!Modelo de cobertura por distritos;

SETS:
LINEAS: LINEA;
COLUMNAS: COLUMNA;
LINKS (LINEAS,COLUMNAS): LF,XY;

ENDSETS
DATA:
LINEAS,LINEA,COLUMNAS,COLUMNA,LF = @OLE('D:\... \ Datos.xls');

@OLE('D:\... \Resultados.xls') = XY;

ENDDATA

!FUNCIÓN OBJETIVO;

MIN = @SUM(LINKS(I,J):XY(I,J));
!RESTRICCIONES;
@FOR(LINEAS(I):@SUM(COLUMNAS(J):LF(I,J)*XY(I,J))>=1);

!RANGO DE EXISTENCIA;
@FOR(LINKS:@BIN(XY));
```



Figura 1: Distritos de Lima y Callao

Se realiza a partir del mapa de distritos de la figura 1, la numeración de los distritos como en la tabla 1.

Tabla 1: Numeración de los distritos

Nº	Distrito	Nº	Distrito
1	ANCON	22	SAN ISIDRO
2	CARABAYLLO	23	SAN LUIS
3	COMAS	24	SAN MIGUEL
4	INDEPENDENCIA	25	SURQUILLO
5	LOS OLIVOS	26	SANTIAGO DE SURCO
6	PUENTE PIEDRA	27	LA VICTORIA
7	RIMAC	28	ATE
8	SAN MARTIN DE PORRES	29	CHACLACAYO
9	CHORRILLOS	30	LURIGANCHO
10	SAN JUAN DE MIRAFLORES	31	CIENEGUILLA
11	VILLA MARIA DEL TIRUNFO	32	LA MOLINA
12	VILLA EL SALVADOR	33	SAN JUAN DE LURIGANCHO
13	BARRANCO	34	SANTA ANITA
14	BREÑA	35	EL AGUSTINO
15	LIMA	36	BELLAVISTA
16	JESUS MARIA	37	CALLAO
17	LINCE	38	CARMEN DE LA LEGUA
18	MAGDALENA	39	LA PERLA
19	MIRAFLORES	40	LA PUNTA
20	PUEBLO LIBRE	41	VENTANILLA
21	SAN BORJA		

Tabla 3: Demanda por distrito y resultados del número de almacenes

N°	Distrito	Demanda en número de familias damnificadas										
1	ANCON	181										
2	CARABAYLLO	37546										
3	COMAS			76029								
4	INDEPENDENCIA			1148								
5	LOS OLIVOS				2439							
6	PUENTE PIEDRA	40920										
7	RIMAC					1437						
8	SAN MARTIN DE PORRES				3748							
9	CHORRILLOS							17042				
10	SAN JUAN DE MIRAFLORES							38511				
11	VILLA MARIA DEL TIRUNFO						43542					
12	VILLA EL SALVADOR						33227					
13	BARRANCO							3838				
14	BREÑA				1300							
15	LIMA				8358							
16	JESUS MARIA				547							
17	LINCE										471	
18	MAGDALENA										368	
19	MIRAFLORES											767
20	PUEBLO LIBRE										587	
21	SAN BORJA											848
22	SAN ISIDRO											536
23	SAN LUIS									294		
24	SAN MIGUEL										1972	
25	SURQUILLO											710
26	SANTIAGO DE SURCO											3037
27	LA VICTORIA									2841		
28	ATE							21577				
29	CHACLACAYO							202				
30	LURIGANCHO							23843				
31	CIENEGUILLA							50				
32	LA MOLINA									2206		
33	SAN JUAN DE LURIGANCHO					98392						
34	SANTA ANITA									874		
35	EL AGUSTINO									2915		
36	BELLAVISTA		987									
37	CALLAO		70134									
38	CARMEN DE LA LEGUA		94									
39	LA PERLA		833									
40	LA PUNTA		74									
41	VENTANILLA		4252									
	Total de familias	78647	76374	77177	16392	99829	76769	59391	45672	9130	3398	5898
	Número de almacenes	4	4	4	1	5	4	3	3	1	1	1
											Total	31

3. CONCLUSIONES

El modelo sirve para poder ubicar almacenes destinados a la atención de la ayuda humanitaria requerida, en las zonas predeterminadas por el estudio, buscando tener un tiempo de respuesta menor a los centros de acopio de las zonas afectadas. Se logra con la propuesta una cobertura simultánea gracias al uso de los almacenes, lo que permite que los puntos de servicio sean atendidos en menor tiempo.

La ubicación de cada almacén en cada zona en el presente estudio con anterioridad, permiten a la administración de los mismos, autoridades de gobierno y de defensa civil, optimizar el envío de la ayuda humanitaria, evitando la duplicidad o falta de entrega, permitiendo atender al mayor número de damnificados en las primeras horas posteriores a un sismo dentro de una ciudad.

Se podría mejorar el estudio utilizando una zonificación de cada distrito, incrementando el número de variables de entrada.

El método propuesto puede ser replicado en otras ciudades vulnerables a los movimientos sísmicos u otros desastres naturales.

REFERENCIAS

- Balcik B. y Beamon, B.M. (2008), Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistic: Research and Applications*, Vol. 11, No 2, pp 101-121.
- Beamon B.M. y Kotleba, S.A. (2006a), Inventory modeling for complex emergencies in humanitarian relief operations. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 9, No 1, pp 1-18.
- Beamon B.M. y Kotleba, S.A. (2006b), Inventory management support systems for emergency humanitarian relief operations in South Sudan. *Journal of Logistics Management*, Vol. 17, No 2, pp 187-212.
- Church, R.L. y ReVelle, C. (1974), The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, Vol. 32, pp 101-118.
- Cooper, L. (1963), Location-allocation problems. *Operational Research*, Vol. 11, pp 331-344.
- Haghani, A. (1996), Capacitated maximum covering location models: Formulations and solution procedures. *Journal of advanced transportation*, Vol. 30, No 3, pp 101-136.
- Haghani, A. y Oh., S.C. (1996), Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 30, No 3, pp 231-250.
- INDECI (2011), Plan Logístico Indeci AF-2011, para ayuda humanitaria ante emergencias o desastres, pp 4
- Knott, R. (1987), The Logistics of bulk relief supplies. *Disasters*, Vol. 11, pp 113-115.
- Logendran, R. y Terrell, M.P. (1998), Uncapacitated plant location-allocation problems with Price sensitive stochastic demands. *Computers and Operations Research*, 15: 189-198.
- Marianov, V. y Re Velle, C. (1995), Siting emergency services. In *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*, edited by Z. Drezner, 199-223. (Springer-Verlag Inc.:New York).
- Nozick, L.K. y Turnquist, M.A. (2001), Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers. *European Journal of Operational Research*, Vol. 129, No 2, pp 362-371.
- Oloruntoba, R. y Gray, R. (2006), Humanitarian aid : an agile supply chain? *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 11 No 2, pp 115-120.

- Pan American Health Organization (PAHO). (2001), Humanitarian supply management in logistics in the health sector. Disponible en: <http://www.paho.org/english/ped/HumanitarianSupply-part1.pdf> (Accesado el 16 de Marzo del 2012).
- Pujawan, N., Kurniati, N. y Wessiani, N.A. (2009), Supply chain management for Disaster Relief Operations: principles and case studies. International Journal of Logistics Systems and Management. Vol. 5 No 6, pp 679-692.
- Owen, S.H. y Daskin, M.S. (1998), Strategic facility location: A review. European Journal of Operation Research, Vol. 111, No 3, pp 423-447.
- Ozdamar, L., Ekinci, E. y Kucukyazici, B. (2004), Emergency logistics planning in natural disasters. Annual of Operation Research, Vol. 129 No 1-4, pp 217-245.
- Schilling, D., Vaidyanathan, D.A., y Barkhi L.R., (1993), A review of covering problems in facility location. Location Science, Vol. 1, No 1, pp 25-55.
- Toregas C., Swain, R., ReVelle, C. y Bergman L., (1971), The location of emergency service facilities. Operations Research, Vol. 19, No 6, pp 1363-1373.
- Thomas, A.S., Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response. Disponible en: <http://www.fritzinstitute.org/PDFs/WhitePaper/EnablingDisasterResponse.pdf> (Accesado el 16 de Marzo del 2012).

Autorización y Renuncia

Los autores, Lucy Aragón, Wilmer Atoche, Christian Cornejo y Jorge Vargas, autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.

Authorization and Disclaimer

Authors, Lucy Aragón, Wilmer Atoche, Christian Cornejo & Jorge Vargas authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.