

Localización óptima de hospitales en la ciudad de Lima

Aragón Casas, Lucy Gabriela

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

Atoche Díaz, Wilmer Jhonny

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

Dávila Cajahuanca, Carmen Blancy

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

RESUMEN

El objetivo de este estudio es optimizar la localización de hospitales en la ciudad de Lima, considerando la demanda actual y el factor pobreza. Una óptima localización de estas instalaciones permite mejorar la cobertura de servicios hospitalarios a las personas que más los necesitan. La demanda se estima de dos formas: la primera utiliza la población total y la segunda considera un factor de pobreza, de acuerdo al nuevo sistema de clasificación socioeconómica de la población, el cual ha sido obtenido en los últimos años por el Gobierno Peruano. En el análisis numérico, se emplea dos de los modelos matemáticos más utilizados en la localización de instalaciones. Los resultados muestran la localización óptima de los hospitales para satisfacer la demanda actual. El contraste de estos resultados con la actual localización de los hospitales muestra diferencias significativas y se observa que los más pobres son los más perjudicados. A partir de los resultados se determinó la localización de los hospitales faltantes para cubrir la totalidad de la demanda estudiada. Finalmente, se concluye que el uso de modelos matemáticos de optimización y un factor pobreza apropiado, son importantes para encontrar la localización de los hospitales.

ABSTRACT

The aim of this paper is to optimize the location of hospitals in the city of Lima, considering the current demand and a poverty factor. Optimum location of these facilities can improve the coverage of hospital services to people who need them most. The demand is estimated in two ways: first using the total population and second considering a poverty factor, according to the new socioeconomic classification system of the population, which has been obtained in recent years by the Peruvian Government. Two mathematical models typically used to locate facilities are used to present the numerical analysis. The results show the optimal location of hospitals to meet current demand. The contrast of these results with the present location of hospitals shows significant differences and shows that the poorest are hardest hit. From the results it was determined the location of the missing hospitals to cover the entire demand studied. Finally, we conclude that the use of mathematical optimization models and an appropriate poverty factor is important to find the location of hospitals.

Keywords: Hospitals, location, optimal location.

1. INTRODUCCIÓN

La localización estratégica de hospitales en una ciudad es importante para poder atender a la mayor cantidad de pacientes. La ubicación incorrecta causa el incremento de los índices de mortalidad y morbilidad, más aún en países en vías de desarrollo. En los últimos años, el Gobierno Peruano ha obtenido un nuevo sistema de clasificación socioeconómica de la población denominado “Sistema de focalización de hogares” (SISFOH). Este sistema contempla la focalización de la población mas necesitada de servicios sociales.

Es de conocimiento general que la población con mayores ingresos económicos busca atender sus necesidades de salud en el sector privado. Por el contrario, la población con menores ingresos económicos se dirige a los servicios de salud brindados por el Estado debido principalmente al bajo o nulo costo. Es por este motivo, que los estudios de localización de servicios de salud como los hospitales deberían considerar el factor pobreza como uno de los criterios más importantes.

El estudio tiene como objetivo optimizar la localización de hospitales en la ciudad de Lima, considerando la demanda. Esta demanda se estima de dos maneras: una, usando la población en general y la otra, teniendo en cuenta el sistema de focalización SISFOH. De esta forma se incluye el concepto de equidad o justicia territorial, para tratar de asegurar una distribución geográfica de los servicios que responda a las necesidades de la población. En el 2011 se realizó un estudio que consideraba el concepto de justicia territorial en un área geográfica Latinoamericana (Fuenzalida, M., 2011). En dicho estudio el autor considera el estatus socioeconómico de la población para determinar la ubicación óptima de tres hospitales. La premisa más importante de su estudio es priorizar a las poblaciones más pobres debido al principio de igualdad proporcional en el que se basa la justicia territorial.

A continuación se revisará los estudios que tratan los modelos matemáticos básicos de ubicación geográfica de instalaciones. Estos estudios, son aquellos que consideramos los más relevantes para este artículo. Luego se presentarán los dos modelos matemáticos utilizados para localizar las instalaciones. Seguidamente, se discuten las premisas y los resultados del análisis numérico. Finalmente, se presentan las conclusiones.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

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). Existen tres modelos básicos para la localización de instalaciones en el sector salud: El Modelo de Cobertura, el Modelo de Máxima Cobertura y el Modelo de la P-mediana (Daskin y Dean, 2004). En estos modelos, la demanda agregada se concentra en un número finito de puntos discretos. En estos modelos se asume que hay una cantidad finita de puntos discretos donde se puede ubicar las instalaciones para brindar el servicio de salud.

Los modelos de localización de cobertura, buscan elegir las instalaciones en los lugares disponibles, de modo que la demanda sea cubierta. El modelo de cobertura original (Toregas et al., 1971) utiliza programación lineal entera para minimizar el número de ambulancias necesarias para cubrir todos los puntos de la demanda.

Un modelo alternativo es el de Localización de Máxima Cobertura (Church y ReVelle, 1974). 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 un estudio que desarrolla un modelo de localización de máxima cobertura capacitado que permite 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 (Haghani, 1996).

El modelo de la P- mediana (Hakimi, 1964) minimiza la demanda ponderada con la distancia promedio. Este modelo considera que el cliente tiene que viajar una cierta distancia para recibir un servicio. En el caso de los estudios del sector salud se considera el tiempo que tiene que viajar el paciente para lograr su atención.

3. LA FORMULACIÓN DEL MODELO

Este estudio toma como base los modelos de localización: Modelo de Máxima Cobertura y el Modelo P-Mediana. El primer modelo usado es el de Máxima Cobertura, al cual se adiciona una restricción para limitar el tiempo de recorrido por una persona entre su distrito y el hospital. Se definen las siguientes variables para este modelo:

I = conjunto de distritos con demanda

J = conjunto de distritos candidatos para ubicar los hospitales

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la demanda del distrito } i \text{ puede ser cubierta por un hospital en el distrito } j \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

h_i = demanda del distrito i

P = número de hospitales a ubicar geográficamente

$$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{si la demanda del distrito } i \text{ es cubierta} \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

T = tiempo límite para el recorrido del paciente

t_{ij} = tiempo de recorrido entre el distrito i y el hospital j

Con esta notación el modelo es formulado como sigue:

$$\text{Maximizar } \sum_{i \in I} h_i Z_i \quad (1)$$

$$\text{Sujeto a } Z_i - \sum_{j \in J} a_{ij} X_j \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} X_j = P \quad (3)$$

$$t_{ij} a_{ij} \leq T \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4)$$

$$X_j - a_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (7)$$

La función objetivo (1) maximiza la demanda cubierta por los hospitales que se abrirían. La restricción (2) limita que la demanda del distrito i no puede ser considerada como cubierta, mientras no se le asigne un hospital j que lo cubra. La restricción (3) limita el número de hospitales que se pueden abrir. La restricción (4) limita el tiempo recorrido entre i (que representa al distrito origen) y j (que representa al distrito destino, hospital). La restricción (5) limita que si se asigna a un distrito i para que sea atendido en un hospital j , entonces el hospital tiene que abrirse.

El modelo de la P-mediana es el segundo modelo. Mediante esta formulación se encuentra la ubicación de un número determinado de instalaciones para minimizar la demanda afectada por la distancia. Es decir, se busca minimizar el tiempo total de recorrido del cliente para recibir el servicio. A diferencia del modelo anterior, en este caso toda la demanda es cubierta. A continuación se definen las variables adicionales:

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la demanda del distrito } i \text{ es asignada al hospital en el distrito candidato } j \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

Con esta notación el modelo es formulado como sigue:

$$\text{Minimize } \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} h_i t_{ij} Y_{ij} \quad (8)$$

Sujeto a

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (9)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} X_j = P \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (12)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (13)$$

En este modelo la función objetivo (8) minimiza la demanda multiplicada por un factor de tiempo. La demanda se considera constante. La restricción (9) establece que cada punto de demanda debe ser asignado exactamente a un hospital. La restricción (10) obliga que cada punto de demanda sea asignado solamente a un punto geográfico si este punto tiene un hospital asignado. La restricción (11) establece la cantidad exacta de hospitales que se van a construir. Las restricciones (12) y (13) definen la característica binaria de las variables.

4. ANÁLISIS NUMÉRICO

4.1 LA DATA

La información sobre la cantidad y nivel socioeconómico de la población en cada distrito se obtuvo del Sistema de Focalización de Hogares, estudio que fue obtenido por el Gobierno Peruano en el 2011. Se consideró veintidós de los cuarenta y tres distritos de Lima, priorizándose en este estudio los de mayor población. Según esta data la población se clasifica en siete niveles de pobreza, siendo el nivel uno el de mayor pobreza y el nivel siete el de menor pobreza o no pobre. Esta clasificación se usó para poder correr el modelo en dos escenarios. El primer escenario considera la población en cada distrito sin considerar el factor de pobreza. El segundo escenario prioriza la atención a los sectores más pobres a través del factor de pobreza. La data para este escenario se obtiene multiplicando cada uno de los primeros cuatro niveles de mayor pobreza (1, 2, 3 y 4) por un factor creciente y mayor a uno. Mientras que los siguientes tres niveles (5, 6 y 7) de menor pobreza se multiplicaron por un factor igual a uno.

Otra información necesaria usada en el análisis, es el tiempo de recorrido de un distrito a otro, para lo cual se tomó un punto central en cada distrito y a través de la herramienta Google Map se halló los tiempos de recorrido entre distritos. El tiempo que toma realizar el desplazamiento en el mismo distrito se considera igual a cero. Esto último se debe a que el objetivo es determinar el distrito donde debería localizarse un hospital, más no la ubicación exacta dentro del mismo distrito. Para el modelo de Máxima Cobertura se estableció un tiempo máximo de recorrido de veinte minutos entre distritos. Se considera que este es un tiempo promedio máximo que debería recorrer una persona para poder llegar al establecimiento de salud.

Se consultó en el Ministerio de Salud la cantidad de hospitales que actualmente existen en Lima, obteniéndose que existen siete instalaciones en la categoría denominada hospitales con internamiento. En el presente estudio se considera sólo esta categoría de hospitales debido a su importancia. Esta cantidad de hospitales se utiliza como línea base para el análisis, lo que permite verificar si su localización actual es óptima.

4.2 RESULTADOS

Se utilizó dos modelos para obtener la localización óptima de hospitales para atender a la demanda potencial de Lima. Para cada modelo se analiza dos escenarios: sin considerar el factor pobreza y considerando el factor pobreza.

Tabla 1: Distritos cubiertos por cada hospital – Modelo de Máxima Cobertura

Distrito:	Localización del hospital													
	Sin considerar el factor pobreza							Considerando el factor pobreza						
	Ate	Carabayllo	Chorrillos	La Victoria	Los Olivos	Lurin	Puente Piedra	Lima	Ate	Brena	Carabayllo	Chorrillos	Puente Piedra	San Juan De Miraflores
Lima				X				X						
Ate	X								X					
Brena				X						X				
Carabayllo		X									X			
Chaclacayo														
Chorrillos			X									X		
Comas					X									
El Agustino				X				X						
Independencia					X									
La Victoria				X				X						
Los Olivos					X									
Lurigancho														
Lurin						X								
Puente Piedra							X						X	
Rimac				X				X						
San Juan De Lurigancho				X						X				
San Juan De Miraflores														X
San Martin De Porres					X			X						
Santa Anita								X						
Surquillo				X										
Villa El Salvador														X
Villa Maria Del Triunfo														X

Utilizando el modelo de Máxima Cobertura, se obtuvieron diferentes resultados para los dos escenarios descritos previamente (ver Tabla 1). Para el escenario que no considera el factor pobreza se cubren dieciséis de los veintidós distritos analizados. Mientras que para el escenario que si considera el factor pobreza sólo se cubren quince distritos. Sin embargo, la cantidad de población cubierta en el segundo escenario es siete por ciento mayor respecto al primer escenario.

Como se puede observar en la Tabla 1, considerando sólo 7 hospitales y un tiempo máximo de recorrido de la población de 20 minutos, para el escenario sin considerar factor pobreza son 6 los distritos no cubiertos y considerando el factor pobreza son 7 distritos. Cabe resaltar que en el escenario sin considerar factor pobreza los distritos no cubiertos son los que se encuentran más alejados, a pesar que cuentan con un mayor porcentaje de población pobre, mientras que al incorporar el factor pobreza estos distritos si son cubiertos.

Un análisis mas detallado de las poblaciones no cubiertas obtenidas con el modelo de Maxima Cobertura, permite entender las causas por las cuales no son consideradas dentro de la cobertura según el tipo de escenario. En la Tabla 2 se muestra el porcentaje de la población clasificada como pobre extremo, pobre y no pobre. Si se comparan los dos escenarios, se observa que al considerar el factor pobreza se cubrieron los distritos de San Juan de Miraflores, Villa el Salvador y Villa María del Triunfo que según la tabla tienen 39, 41 y 42% de población pobre, dejando sin cobertura a los distritos de Comas, Independencia, Los Olivos y Surquillo que tienen menos del 30% de pobreza dentro de su población.

Tabla 2: Distribución de la población según nivel de pobreza por distrito

Distritos	Pobre extremo	Pobre	No Pobre
Lima	1%	22%	77%
Ate	5%	46%	49%
Breña	0%	10%	90%
Carabayllo	6%	52%	42%
Chaclacayo	1%	25%	73%
Chorrillos	1%	33%	65%
Comas	3%	29%	69%
El Agustino	1%	23%	76%
Independencia	3%	27%	70%
La Victoria	0%	16%	84%
Los Olivos	0%	26%	74%
Lurigancho	4%	47%	49%
Lurín	5%	48%	46%
Puente Piedra	5%	57%	38%
Rimac	2%	23%	75%
San Juan de Lurigancho	5%	40%	56%
San Juan de Miraflores	3%	36%	61%
San Martín de Porras	1%	22%	78%
Santa Anita	0%	19%	81%
Surquillo	0%	13%	87%
Villa el Salvador	2%	39%	59%
Villa María del Triunfo	4%	38%	59%

Con el objeto de determinar cuántos hospitales se requieren para atender la demanda en su totalidad se realizó varias corridas, obteniéndose que se necesitan diez hospitales. La localización de siete de ellos es como se indica en la Tabla 1. Para el escenario que no considera el factor pobreza, los tres hospitales adicionales deberían estar ubicados en Lurigancho, San Juan de Miraflores y Santa Anita. Para el escenario que si considera el factor pobreza se deberían ubicar en Los Olivos, Lurín, Surquillo y Lurigancho. La diferencia de estos resultados ratifica la importancia de considerar el factor pobreza para obtener la localización óptima de hospitales.

El segundo modelo que se corrió fue el de la P-Mediana. Igualmente, se usaron los dos escenarios descritos anteriormente. Este modelo busca minimizar los tiempos de recorridos totales y atender a toda la población. Para el escenario que no considera el factor pobreza, los resultados indican que los siete hospitales se deben localizar en los siguientes distritos: Lima, Ate, Comas, Chorrillos, Puente Piedra, San Juan de Miraflores y Villa el Salvador. A diferencia de los resultados previos, para el escenario que si considera el factor pobreza se localiza un hospital en el distrito de Lurigancho en lugar del localizado en el distrito de Chorrillos. En la tabla 3 se muestra las demandas cubiertas según los intervalos de tiempo de acceso al hospital. De acuerdo a las capacidades requeridas se determinaría el nivel del hospital o la pertinencia de crear centros de salud de apoyo.

Tabla 3: Distribución de la demanda cubierta según intervalo de tiempo de acceso al hospital

		Demanda (en número de habitantes) cubierta sin considerar el factor pobreza				Demanda (en número de habitantes) cubierta considerando el factor pobreza			
		0-10'	10-20'	20-30'	30-40'	0-10'	10-20'	20-30'	30-40'
Localización de Hospital	Distrito	0-10'	10-20'	20-30'	30-40'	0-10'	10-20'	20-30'	30-40'
	Lima	287,285	191,319	-	-	287,285	191,319	0	0
	Ate	193,596	-	90,085	30,698	193,596	-	-	30,698
	Chorrillos	82,046	-	-	-				
	Comas	140,282	61,938	160,413	-	140,282	61,938	160,413	-
	Puente Piedra	138,853	-	-	-	138,853	-	-	-
	San Juan de Lurigancho	414,615	128,593	-	-	414,615	128,593	-	-
	Villa el Salvador	151,365	86,950	16,514	-	151,365	-	185,510	-
	Lurigancho					79,730	10,355	-	-
Total	1,408,042	468,800	267,012	30,698	1,405,726	392,205	345,923	30,698	

Al hallar el tiempo promedio que recorrerían las personas para asistir al hospital asignado se obtiene que para el escenario que no considera el factor pobreza el recorrido duraría 17.38 minutos en promedio, mientras que en el otro escenario el recorrido duraría 18.29 minutos. En ambos casos el tiempo promedio de recorrido estaría por debajo de los veinte minutos, el cual se considera como el tiempo óptimo para brindar un nivel adecuado de servicio. Sin embargo, el tiempo máximo de recorrido sería de cuarenta minutos. Cinco distritos presentan un tiempo de recorrido mayor a veinte minutos, resultando ser el más perjudicado Villa María del Triunfo.

Al contrastar los resultados del modelo que considera el factor pobreza con la infraestructura actual, se observa dos diferencias significativas. Según el modelo de la P-Mediana, debería haber un hospital en el distrito de San Juan de Miraflores y otro en Villa el Salvador. En la actualidad estos distritos no cuentan con dicho hospital. Esto

podría explicarse por el hecho de que San Juan de Miraflores y Villa el Salvador son distritos que en las dos últimas décadas han tenido un ratio de crecimiento poblacional alto.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que el uso de modelos de optimización, como los empleados en este estudio de localización de hospitales, podrían brindar mejores servicios de salud a la población más necesitada, cumpliendo así con el principio de equidad. Al considerar el factor pobreza los resultados muestran una variación significativa, por lo que se comprobaría que es mejor usar este factor para poder determinar la localización de los servicios básicos que están dirigidos en su gran mayoría a la población más pobre.

Actualmente se cuenta con siete hospitales, los cuales según nuestro análisis no son suficientes para cubrir la demanda, en ambos modelos la cantidad es insuficiente tanto por el criterio de cobertura como por el tiempo de recorrido necesario para llegar al hospital. Para tener una localización óptima se tendría que diseñar un modelo que considere otros factores de decisión además de la demanda, el tiempo de recorrido y el factor de pobreza. Los futuros estudios tendrían que evaluar las capacidades de los hospitales actuales e incorporar la demanda cubierta por centros de salud, los cuales son instalaciones considerablemente más pequeñas que un hospital. También sería importante incorporar la proyección del crecimiento poblacional que están teniendo algunos distritos para así optimizar la inversión a largo plazo. Finalmente, se puede mencionar que el estudio podría ser replicado en otras ciudades de Latinoamérica.

REFERENCIAS

- Church, R.L. and ReVelle, C. (1974). "The maximal covering location problem". *Papers of the Regional Science Association*, Vol. 32, pp 101-118.
- Daskin, M.S., and Dean, L.K. (2004). "Location of health care facilities". Department of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA.
- Fuenzalida, M. (2011). "Diseño de esquemas de localización óptima para hospitales del servicio de salud Viña del Mar-Quillota (Chile) discriminando según status socio-económico". *Geofocus*, No. 11, pp 409-430.
- Haghani, A. (1996). "Capacitated maximum covering location models: Formulations and solution procedures". *Journal of advanced transportation*, Vol. 30, No 3, pp 101-136.
- Hakimi, S.L. (1964). "Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph". *Operations Research*, Vol. 12, No. 3, pp 450-459.
- Ministerio de Economía y Finanzas, República del Perú. (2011). Sistema de focalización de hogares, <http://sisfoh.mef.gob.pe/>, 02/22/12.
- Ministerio de Salud, República del Perú. (2011). Registro de Hospitales por ubicación geográfica. <http://www.app.minsa.gob.pe/>, 02/22/12.
- Owen, S.H. and Daskin, M.S. (1998). "Strategic facility location: A review". *European Journal of Operation Research*, Vol. 111, No 3, pp 423-447.
- Toregas C., Swain, R., ReVelle, C. and Bergman L. (1971). "The location of emergency service facilities". *Operations Research*. Vol. 19, No 6, pp 1363-1373.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias 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.