

Localización de policlínico para mejorar la cobertura de salud del Reparto Piedra Blanca

Localization of polyclinic to improve healthcare coverage in Piedra Blanca District, Cuba

Guillén Sánchez, M. J.¹,  Loza-Hernández, L.^{1*}  (*llozahernandez@yahoo.com)

Recibido: 16 de abril de 2024 Aceptado: 24 de mayo de 2024

RESUMEN

El Sistema Nacional de Salud de Cuba (SNS) cuenta con diversas instituciones cuya responsabilidad es asegurar el acceso equitativo y sin restricciones a todos los programas y servicios de salud, así como proporcionar una cobertura del 100 % para toda la población. El nivel primario de atención médica se dedica a abordar aproximadamente el 80 % de los problemas de salud de la población, ofreciendo acciones de promoción y protección de la salud. El Policlínico desempeña un papel central en este sistema de salud. En la provincia de Holguín, la dirección de salud trabaja en fortalecer los Policlínicos de la Familia, los cuales buscan acercar los servicios de salud a los diferentes núcleos poblacionales. El objetivo del trabajo es ubicar geográficamente

un policlínico en el reparto Piedra Blanca, en la ciudad cubana de Holguín. En este trabajo se aplica el método del Problema de Localización de una Sola Instalación (SFLP, por sus siglas en inglés Single Facility Location Problem) para determinar la localización del Policlínico, que será construido en el reparto Piedra Blanca de la ciudad de Holguín. El SFLP tiene como objetivo principal la minimización de la distancia total recorrida a cada punto de demanda, al cual se le asocia un peso relativo entre este y la distancia total existente al punto de localización de la nueva instalación.

Palabras clave: Localización de instalaciones, Problema de localización de una sola instalación, Sistema de salud

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. Paseo Universidad S/N. Toluca, Estado de México, México. CP. 50130.



ABSTRACT

The Cuban National Health System (SNS) has institutions that have the obligation to guarantee free and equal access to all health programs and services to 100 % of the population. The Cuban SNS guarantees access to comprehensive health services that are provided in outpatient and hospital units. The primary health level should provide solutions to approximately 80 % of the population's health problems and offer actions to promote and protect health. The Polyclinic is the main institution of the National Health System. The Holguín Provincial Health Directorate is working on the consolidation of the Family Polyclinics, which promote an approach of services to population centers. The objective of the work is geographically located a polyclinic in the Piedra Blanca neighborhood, in the Cuban city of Holguín. For the development of this work, the Single Facility Location Problem method is applied to determine the location of the Polyclinic, which will be built in the Piedra Blanca neighborhood of the city of Holguín. The main objective of the Single Facility Location Problem is to minimize the total distance traveled, in which a relative weight is associated with each demand point and the total distance between the demand node and the location point of the new facility.

Keywords: *Facility location, Single Facility Location Problem, Healthcare system*

INTRODUCCIÓN

El Sistema Nacional de Salud (SNS) de Cuba está compuesto por varias instituciones encargadas de asegurar el acceso equitativo y libre a todos los programas y servicios de salud, brindando una cobertura del 100 % a la población. Este acceso no se ve influenciado por el nivel de ingresos ni el origen social. El SNS cubano garantiza el acceso a servicios de salud integrales tanto en unidades ambulatorias como hospitalarias. El nivel primario tiene como objetivo abordar aproximadamente el 80 % de los problemas de salud de la población, proporcionando acciones de promoción y protección de la salud. Aunque estas actividades pueden llevarse a cabo en todas las unidades del SNS, se centran en los policlínicos y consultorios del médico de familia, que corresponden en su mayoría a unidades de subordinación municipal. En el nivel secundario, se atiende cerca del 15 % de los problemas de salud, centrándose en tratar a individuos que ya presentan cuadros clínicos para prevenir complicaciones y rehabilitar a los pacientes inmediatamente. La unidad básica en este nivel es el hospital de subordinación provincial. En el nivel terciario, se atiende aproximadamente el 5 % de los casos, y se ocupa de atender secuelas o complicaciones de enfermedades específicas. La atención se ofrece principalmente en hospitales especializados e institutos de subordinación nacional [1].

El objetivo del trabajo es ubicar geográficamente un policlínico en el reparto Piedra Blanca, en la ciudad cubana de Holguín, Cuba a través del uso de métodos cuantitativos, que permitan asegurar que los

pacientes recorren la mínima distancia para recibir el servicio de salud requerido. La Figura 1 muestra la ubicación geográfica del Reparto donde es necesario localizar el nuevo policlínico.

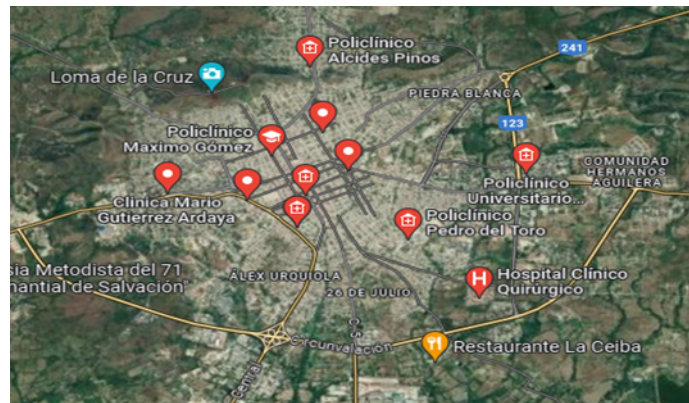


FIGURA 1. *Policlínicos familiar, ciudad de Holguín, Cuba. Fuente: Elaboración propia.*

En la literatura existen varios métodos cuantitativos para determinar la mejor ubicación de instalaciones con base en los requerimientos de los tomadores de decisiones y necesidades propias de las empresas de los diferentes sectores; para el caso del sector salud, estos métodos se usan como herramientas para determinar la mejor ubicación de instalaciones médicas (hospitales, centros de salud, clínicas, etc.). Para determinar la mejor ubicación de estas instalaciones, son considerados criterios que identifican las mejores localizaciones, para el caso de estudio, el principal criterio es la necesidad de la población que atenderá dicha instalación, por lo tanto, herramientas como Centro P, Cobertura Máxima, Problema de Localización de una Sola Instalación y Centro de Gravedad son algunos de los métodos que se pueden utilizar para lograr el objetivo planteado. Para el desarrollo de este trabajo, se aplica el método del Problema de Localización de una Sola Instalación (SFLP) para determinar la localización del Policlínico, que será construido en el reparto Piedra Blanca de la ciudad de Holguín, Cuba. Específicamente se seleccionó el método (SFLP) debido a que éste permite considerar las características geográficas de las áreas en estudio; cabe mencionar que la Zona de Estudio 1 se encuentra en una zona montañosa, lo que resulta en una densidad poblacional menor en comparación con otras zonas analizadas. Como parte de las características geográficas, a la densidad poblacional se le asigna un peso relativo asociado a cada punto de demanda o zona de estudio.

PROBLEMA DE LOCALIZACIÓN PARA UNA SOLA INSTALACIÓN

Actualmente, el Policlínico se erige como la institución fundamental en el marco del SNS a nivel nacional, el cual dirige las instituciones de salud en su área respectiva. Su responsabilidad principal es la integración y ejecución de todas las acciones del sistema de salud, siendo encargado de guiar al paciente a lo largo de todos los niveles de atención hasta la resolución de sus problemas de salud. La organización

y planificación de los servicios del centro de salud se llevan a cabo considerando los problemas de salud de la población o del área territorial que atiende. Además, se asegura un programa continuo de capacitación y formación para los recursos humanos, con el fin de garantizar el funcionamiento eficiente de los servicios y abordar otras necesidades, en colaboración con las sedes universitarias. De manera sistemática, se evalúa la satisfacción tanto de los proveedores de servicios como de los usuarios, mediante el departamento de atención a la población y se realiza una exploración constante desde los diferentes servicios utilizando tantos métodos regulares como de búsqueda activa, con el objetivo de tomar decisiones informadas en la organización de los servicios.

El Problema de Localización de una Sola Instalación fue estudiado por primera vez por Fermat como una de las ramas del problema de ubicación [2]. Esta rama del problema de la localización de instalaciones ha atraído el interés de muchos investigadores desde entonces, muestra de ello, en Irán en 2022 se realizó un estudio sobre el problema inverso de ubicación de una sola instalación, equilibrando la distancia del proveedor a los clientes [3]. El problema de ubicación bajo incertidumbre de la demanda fue propuesto por Jaehyeon y Park [4]. Gökhan aborda el problema de la ubicación de una sola instalación en múltiples regiones con diferentes normas y luego idearon un algoritmo de ramificación y unión especialmente diseñado para resolver el problema [5], solo por mencionar algunos.

El problema de la ubicación de una sola instalación es de los problemas científicos de optimización y gestión más importantes. Es utilizado para modelar problemas del mundo real, como determinar la ubicación de oficinas administrativas, militares, centros educativos, estaciones de bomberos, sucursales bancarias, hospitales, etc., lo cual justifica el amplio interés de expertos en el área, presentando resultados valiosos [6]. Sin embargo, la existencia de ambigüedad e incertidumbre en el mundo real es un hecho innegable, por lo tanto, en muchos casos, es imposible determinar los valores exactos de los parámetros; en tales casos, se utiliza la teoría difusa, que es una herramienta adecuada para expresar y describir la incertidumbre y la precisión de los eventos [7]. El problema de la ubicación difusa también ha recibido una atención significativa por parte de muchos investigadores y numerosos estudios se han realizado en esta área. En 2013, se presentó un estado del arte sobre la metodología de simulación para problemas de diseño de instalaciones [8]. Jiuping y Song estudiaron el problema de diseño dinámico multiobjetivo para instalaciones de construcción temporales con departamentos de áreas desiguales en un entorno difuso [9].

Analizando lo anteriormente expuesto y teniendo en cuenta las características y objetivos del sistema de salud cubano, se hace necesario acercar el sistema de salud a los habitantes de cada localidad. El modelo SFLP ha sido utilizado en trabajos anteriores para localizar instalaciones hospitalarias, ya que tiene como objetivo principal la minimización de la distancia total recorrida a la cual se asocia un peso relativo (W_i) a cada punto de demanda, donde i es el número de puntos de demanda (m) (este peso relativo se puede calcular en función de las distintas variables de interés) y la distancia total existente

entre el nodo de demanda (p_i) y el punto de localización de la nueva instalación x la cual se denota por ($d(x, p_i)$). La Ec. (1) muestra de forma matemática el planteamiento descrito [11]:

$$F.O.MIN F(X) = \sum_{i=1}^m W_i d(x, p_i) \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

Donde:

$d(x, p_i)$ es la distancia que puede ser calculada ya sea rectilínea, cuadrada rectilínea o euclidiana desde el punto de demanda (p_i) hasta la zona de posible ubicación x .

W_i es el peso relativo asociado a cada punto de demanda i [10].

De acuerdo con esto, se propone el modelo de SFLP con el objetivo de ubicar la instalación de manera óptima, minimizando la distancia total recorrida [12].

Este método ha sido utilizado para ubicar instalaciones médicas como fue el caso de la localización geográfica de una instalación hospitalaria para mejorar la cobertura en salud de las localidades de Sumapaz, Usme y Rafael Uribe en Colombia en el año 2019.

CASO DE ESTUDIO

El objetivo de este trabajo es ubicar geográficamente un policlínico en el reparto Piedra Blanca, en la ciudad cubana de Holguín, Cuba a través de la aplicación del método SFLP, que permita asegurar que los pacientes recorran la mínima distancia para recibir el servicio de salud requerido. La Figura 1 muestra la localización de Piedra Blanca, la cual requiere la instalación del nuevo policlínico. Para analizar el caso en cuestión, se subdividió la zona en tres regiones (Figura 2), atendiendo a la densidad poblacional y la accesibilidad a cada zona.



FIGURA 2. Subdivisión de Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

El país experimenta una transición demográfica, caracterizada por una fecundidad muy baja (1.5 hijos por mujer), una mortalidad reducida (7.3) y el aumento en la esperanza de vida al nacer, que alcanzó los 77 años en 2022. Estos fenómenos demográficos han resultado en una disminución en la tasa de crecimiento poblacional (de 4.6 en 1997 a -0.2 en 2007) y un envejecimiento de la población. Actualmente, más del 16 % de la población tiene 60 años o más, mientras que solo el 18.4 % tiene menos de 15 años. En la Tabla 1 se muestran los datos demográficos de la zona de estudio [1].

Tabla 1. Datos demográficos de la zona de estudio (año 2022). Fuente: Elaboración Propia.

Zona	Densidad Poblacional (hab/km ²)	Extensión (km ²)	Habitantes (hab)
1	678	0.380412	1782
2	1267	0.478788	2646
3	989	0.806752	1226

De acuerdo con el relieve, la disposición de las vías y la disposición del suelo se identificaron varias zonas en las cuales puede ubicarse la instalación hospitalaria. Se generó sobre el mapa del reparto Piedra Blanca una malla con divisiones de 100 metros por 100 metros, en las zonas identificadas como factibles, y se encontró el centroide de estas zonas, ver Tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas de zonas candidatas *k*. Fuente: Elaboración propia.

Ubicación	Coordenada centroide X	Coordenada centroide Y
1	20.898452	-76.247565
2	20.892396	-76.24554
3	20.895692	-76.243143
4	20.897407	-76.242767
5	20.894302	-76.242127
6	20.898275	-76.242127
7	20.898806	-76.238728
8	20.898555	-76.238415

A través del Plan Director de la Ciudad y la malla realizada, se obtuvieron 8 zonas posibles, como se muestra en la Figura 3 (las zonas posibles están enmarcas en cuadrículas rojas).

Teniendo en cuenta la población de cada zona del Reparto (Tabla 1), la localización del centroide de cada zona de demanda se muestra en la Tabla 3, las ubicaciones posibles para la instalación del



FIGURA 3. *Zonas de Posible Ubicación. Fuente: Elaboración propia.*

policlínico (Tabla 2 y Figura 3) y las disposiciones del Plan Director de la ciudad en cuanto al uso de suelos, se procedió a definir los parámetros del modelo. El peso relativo o importancia de cada zona resulta de calcular la proporción entre la población de cada zona y la población total del reparto [13] .

Tabla 3. Coordenadas de las zonas de estudio i . Fuente: Elaboración propia.

Zona	Coordenada centroide X	Coordenada centroide Y
1	20.90235405	-76.24166502
2	20.8964464	-76.2427995
3	20.89756683	-76.24051708

Formulación del problema al caso de estudio

i : índice que identifica las zonas de demanda, donde $i=1,2,3$.

k : índice que identifica las zonas habilitadas para la localización del policlínico, donde $k=1,2,\dots,8$

X_i : abscisa del centroide de la zona de demanda i , donde $i=1,2,3$

Y_i : ordenada del centroide de la zona de demanda i , donde $i=1,2,3$

W_i : peso relativo de cada zona de demanda i , donde $i=1,2,3$

X_k : abscisa del centroide de la zona habilitada k para la ubicación del policlínico, donde $k=1,2,\dots,8$

Y_k : ordenada del centroide de la zona habilitada k para la ubicación del policlínico, donde $k=1,2,\dots,8$

Se definieron las variables de decisión del modelo, entre las cuales se incluyen las coordenadas del punto donde se localizará la instalación, así como las distancias rectilíneas recorridas desde el nuevo hospital hasta los nodos de demanda.

Variables de decisión

XF : Abscisa de la nueva instalación hospitalaria

YF : Ordenada de la nueva instalación hospitalaria

DX_i : Distancia rectilínea en el eje X desde los centroides de las zonas tipo i a la nueva instalación hospitalaria, donde $i=1,2,3$

DY_i : Distancia rectilínea en el eje Y desde los centroides de las zonas i a la nueva instalación hospitalaria, donde $i=1,2,3$

M_k : Variable binaria que indica si el hospital es instalado en la zona k , donde $k=1,2,\dots,8$

Una vez determinados los parámetros y las variables de decisión, se procede a la elaboración del modelo canónico.

Función Objetivo:

$$MIN F = \sum_{i=1}^3 W_i * (DX_i + DY_i) \quad (2)$$

Sujeto a:

$$DX_i + XF = X_i \quad \forall i \quad (3)$$

$$DY_i + YF = Y_i \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^8 M_k = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^8 X_k * M_k = XF \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^8 Y_k * M_k = YF \quad (7)$$

$$M_k \in \{1, 0\} \quad \forall k \quad (8)$$

La función objetivo Ec. (2) busca minimizar la distancia total ponderada recorrida desde los nodos de demanda hasta la localización del nuevo policlínico; las restricciones Ec. (3) y Ec. (4) cuantifican la distancia rectilínea recorrida tanto en el eje de las abscisas como en el de las ordenadas desde cada nodo de demanda hasta el nuevo policlínico; por su parte, las restricciones Ec. (6) y Ec. (7) garantizan que la localización del nuevo policlínico sea en la zona candidata que se activa, siendo estas activadas gracias a la restricción Ec. (5), que garantiza que solo una de las zonas albergue el policlínico a instalar. Finalmente, la Ec. (8) valida el valor binario de la variable de decisión M_k .

RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez diseñado el modelo se busca la solución al problema planteado. Para ello, se hizo uso del Software GAMS SIDE versión 23.5 y se codificaron tanto la función objetivo como las restricciones con la información relevante recolectada para la investigación, con el fin de obtener posibles alternativas de solución a la localización de la nueva instalación hospitalaria (ver Figura 4).

UBICACIÓN DE POLICLÍNICO			
Execution			
----	90 VARIABLE F.L	=	774273.28
	VARIABLE XF.L	=	20.897
	VARIABLE YF.L	=	76.242
	Distancia		
	COORDENADA X DEL PUNTO DONDE SE UBICA LA INSTALACION		
	COORDENADA Y DEL PUNTO DONDE SE UBICA LA INSTALACION		
----	90 VARIABLE M.L	VARIABLE BINARIA QUE INDICA LA ZONA k DONDE SE UBICA LA INSTALACION	
UBICACION1	4.000		
EXECUTION TIME	=	0.031 SECONDS	3 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

FIGURA 4. Resultados arrojados por programa GAMS SIDE. Fuente: Elaboración propia.

El modelo fue ejecutado en una computadora con procesador Intel(R) Celeron (R) CPU N3050 @160GHz con memoria RAM de 4GB. La solución tardó en obtenerse 0.031 segundos. Los resultados fueron F= 774273.286, la ubicación seleccionada fue la número 4, con distancias totales en X y en Y de 555.643 y 338.440 metros respectivamente, la ubicación del nuevo policlínico será X=20.897407 Y=-76.242767, lo que puede expresarse en coordenadas geográficas como: 20°53'50.7"N 76°14'34.0"W; ver Figura 5.

Los resultados obtenidos son viables, debido a que la localización en el noreste de la región delimitada para la solución del problema es un área montañosa que por su relieve presenta baja densidad poblacional



FIGURA 5. *Ubicación geográfica del policlínico. Fuente: Elaboración propia.*

y por tanto no sería una ubicación adecuada para el servicio de salud.

CONCLUSIONES

Es relevante resaltar que el objetivo general de la investigación se materializó efectivamente, el cual era determinar una propuesta de localización geográfica de un policlínico para solucionar los problemas de cobertura de salud en el Reparto Piedra Blanca, Holguín, Cuba; haciendo uso de métodos cuantitativos de localización de instalaciones, considerando la densidad poblacional de la zona, para así llegar a la mayor cantidad de población posible. Los beneficios inherentes al uso de esta herramienta son reducir las distancias a recorrerse entre los nodos de demanda y el centro médico y que se analiza, al mismo tiempo, el impacto de otras variables como en este caso lo es la densidad poblacional; logrando los objetivos planteados del desarrollo del trabajo.

REFERENCIAS

- [1] E. Domínguez-Alonso, M. P. Eduardo Zacea. Sistema de salud de Cuba. 2009.
- [2] R. F. Love, J. James, G. Morris, and G. O. Wesolowsky. Facilities Location: Models & Methods. North-Holland Publishing Co., New York, 1988.
- [3] S. Omid, J. Fathali. Inverse single facility location problem on a tree with balancing on the distance. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 12(5), 2022. DOI: 10.3934/jimo.2021017
- [4] J. Ryu, S. Park. A branch-and-price algorithm for the robust single-source capacitated facility location problem under demand uncertainty. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 11(26):100069, 2022. DOI: 10.1016/j.ejtl.2021.100069

- [5] G. A. Altay, M. H. Akyüz, T. Öncan. Solving a minisum single facility location problem in three regions with different norms. *Annals of Operations Research*, 321(1), 2023. DOI: 10.1007/s10479-022-04952-5
- [6] M. J. Varnamkhasti. Overview of the algorithms for solving the P-median facility location problems. *Advanced Studies in Biology*, 4(2):49-55, 2012.
- [7] N. A. Taghi-Nezhad. Fuzzy linear fractional programming for container transportation optimization. *International Journal of Industrial Mathematics*, 5(4):309-316, 2023.
- [8] C. N. Kulkarni, M. I. Talib, R. S. Jahagirdar. Simulation methodology for facility layout problems. *The International Journal of Engineering and Science*, 2(2):24-30, 2013.
- [9] J. Xu, X. Song. Multi-objective dynamic layout problem for temporary construction facilities with unequal-area departments under fuzzy random environment. *Knowledge-Based Systems*, 81(2), 2015. DOI: 0.1016/j.knosys.2015.02.001
- [10] R. Zanjirani Farahani. Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies. Heidelberg: Physica-Verlag, 2009. DOI: 10.1007/978-3-7908-2151-2
- [11] R. Zanjirani Farahani, Z. Drezner, N. Asgari. Single facility location and relocation problem with time dependent weights and discrete planning horizon. *Annals of Operations Research*, 167:353-368, 2009.
- [12] A. F. Vélez Osorio, C. V. García Prieto. Localización geográfica de una instalación hospitalaria para mejorar la cobertura en salud de las localidades de Sumapaz, Usme y Rafael Uribe Uribe. 2019. Recuperado el 10 de junio de 2023, de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_industrial/136
- [13] Ministerio de Salud Pública de Cuba. Anuario Estadístico. La Habana: MINSAP, 2022.