

Adaptación del modelo de localización de máxima cobertura para determinar espacios apropiados para la construcción de conjuntos habitacionales.

Adaptation of the maximum coverage location model to determine appropriate spaces for the construction of housing complexes.

Zambrano, Richard^{1*}; Márquez, Víctor²

¹Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

²Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

*rzambrano5054@utm.edu.ec

Resumen

El propósito del presente artículo argumenta que, el modelo de localización de Máxima Cobertura determina el espacio del terreno más óptimo para así poder construir viviendas. El artículo organiza trabajos existentes, dándole un enfoque renovador al modelo MCLP, permitiendo mejorar el alcance y poder conocer un lugar o espacio libre, al mismo tiempo su objetivo es determinar lugares óptimos para la construcción de viviendas, enfocados en la ciudad de Manta; dentro de la indagación se emplea el modelo matemático utilizado para la localización ayudando a cubrir la demanda. Es necesario recalcar que la revisión bibliográfica será una herramienta indispensable para enfocar el problema de localización, de este modo se desarrolla una metodología apropiada acotando que se recopilan datos necesarios para la aplicación a un caso real. Se utiliza un Software de programación como complemento al modelo matemático y a su vez se determinan soluciones potenciales, encontrando así espacios más apropiados en entornos de instituciones educativas u hospitales.

Palabras clave: Modelo matemático, Optimización, Software, Máxima cobertura, Localización.

Abstract

The purpose of this article is to argue that the Maximum Coverage Location Model (MCLP) determines the optimal land space for housing. The article organizes existing works, giving a renewed approach to the MCLP model, allowing to improve the scope and to be able to know a place or free space, at the same time its objective is to determine optimal places for the construction of housing, focused on the city of Manta; within the enquiry the mathematical model used for the location is employed helping to cover the demand. It is necessary to emphasize that the bibliographic review will be an indispensable tool to approach the problem of localization, in this way an appropriate methodology is developed, and the necessary data is collected for the application to a real case. A programming software is used as a complement to the mathematical model and at the same time potential solutions are determined, thus finding the most appropriate spaces in educational institutions or hospital environments.

Keywords: Mathematical model, Optimization, Software, Maximum coverage, Location.

1 Introducción

El problema de la localización se planteó a inicios del siglo XVII por los matemáticos Fermat y Torricelli, en su forma más primitiva, trata de encontrar la posición de un

punto en un plano, de tal manera que el total de la suma de las distancias entre dicho punto y otros tres dados sea mínima (Carrizosa, 2005). Dentro de los modelos matemáticos existen algunos ejemplos utilizados para resolver problemas de localización que normalmente son de programación

matemática y simulación (Handy, 2017, Winston, 2018).

En este contexto la optimización del modelo de localización es una herramienta que se puede aplicar a la toma de decisiones, ya que varía según el caso práctico en que se encuentre. Además, se plantea realizar un modelo matemático para el cual es necesario el uso de herramientas de programación lineal y software.

Según (Calderón, 2012) se optimiza la utilización de los recursos para cubrir las áreas de terrenos óptimos y así aplicar modelos matemáticos.

El poder encontrar un lugar adecuado para edificar futuras construcciones es difícil y toma tiempo para plantear varias preguntas, tales como: ¿Qué zonas poseen potencial para ser utilizadas para construcción?, ¿En cuáles de éstas se debería ubicar según la demanda?. Para determinar la mejor localización y, a su vez, brindar soporte para la toma de decisiones, se realiza una visualización geográfica de información, respondiendo a las preguntas planteadas anteriormente.

El problema de maximización de cobertura (Maximal Coverage Location Problem, MCLP por sus siglas en inglés) ha sido objeto de numerosos estudios. Este fue introducido por (Church, 1974), el MCLP está enfocado en maximizar la cobertura dado un número predefinido de centros de atención. La formulación original del MCLP considera un conjunto discreto de puntos de demanda, a los cuales se les puede asignar una ponderación de acuerdo a las condiciones del problema, y un conjunto discreto de ubicaciones candidatas en las cuales se decide abrir o no un centro de atención.

En la actualidad los problemas de ubicación se conocen como un conjunto de clientes que son distribuidos espacialmente en una determinada área geográfica, esta demanda debe ser cubierta por uno o varios centros de distribución, estos centros se operan dentro de un marco de cooperación o competencia dependiendo del requerimiento del cliente; este proceso establecerá que dentro del territorio deseado se pueda ubicar el mejor resultado con las restricciones geográficas pertinentes.

Para esta investigación se seleccionó el modelo de localización de máxima cobertura porque busca maximizar o ubicar un número de instalaciones vacías para poder construir, ampliando el rango y que se permita realizar el modelo matemático, se pretende lograr cubrir las necesidades del modelo reformulado, para localizar puntos óptimos en la ciudad de Manta y estos puedan ser aplicados para proyectos constructivos, tanto como zona norte, sur de la ciudad dando como respuesta positiva el poder de ubicar terrenos óptimos para familias y no tan solo para instituciones que contengan proyectos de gran cobertura, para así cubrir las demandas.

Se utilizó una integración organizada de hardware, software, datos geográficos, diseñados para capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión.

El MCLP ha sido aplicado en escenarios de la economía, la matemática y la sociedad, tales como: patrullaje policial y

planeamiento (Fajardo, y col., 2017), ubicación de antenas Wi-Fi (Lee, y col., 2010), localización de sucursales bancarias (Allahi, y col., 2015), localización de bases mineras (Xue, y col., 2016), entre otros.

Se ha realizado una recopilación de los resultados de otras investigaciones en base al problema de localización (ver Tabla 1), donde los investigadores establecen hechos recientes sobre el tema a través de una revisión literaria como se presenta a continuación.

(Dantrakul, y col., 2014) realizaron una investigación que tuvo como objetivo mostrar que el modelo P-Center Problem ayudará a localizar P instalaciones obteniendo como resultado óptimo minimizar la distancia máxima entre esas instalaciones y los clientes asignados.

Tabla 1 Revisión literaria problemas de localización.
Literary review localization problems.

Objetivo	Examinar modelos de optimización para problemas de localización de logística humanitaria de emergencia en tipos de modelos dados, así como examinar las situaciones de antes y después con respecto a la localización de las instalaciones.
Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics	Este modelo matemático está basado en minimizar:
(Boonmee, y col., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> – Tiempos de respuesta, tiempo de evacuación y distancia. – Los costos de transporte en base a (distancia y tiempo). – Costos fijos de las instalaciones y los costos operativos. – También la demanda que no está cubierta o la demanda la insatisfecha. – El riesgo.
	No olvide que hay que tener en cuenta cual sea el problema, y de esta manera se pueda combinar con otros

	<p>métodos donde se apliquen técnicas como la teoría de decisiones, la teoría de colas entre otros.</p>		<p>Objetivo</p>	<p>dominio de la localización jerárquica de instalaciones.</p>
<p>Determinación de zonas óptimas para la localización de nuevas estaciones de bomberos en Bogotá mediante herramientas de análisis espacial (Mosquera y col. 2015)</p>	<p>Objetivo</p> <p>Identificar áreas óptimas para la construcción de nuevas estaciones de bomberos en la ciudad de Bogotá por medio de análisis espacial.</p>	<p>Multi-level facility location problems (Ortiz, y col., 2017)</p>	<p>Descripción</p>	<p>Se hace énfasis en los modelos de localización multi-nivel (MLFLP) enmarcado diferentes técnicas o metodologías</p>
	<p>Descripción</p> <p>Se estudian la cartografía y se identifica las zonas óptimas en donde se deberían ubicar.</p> <p>Método: Análisis multicriterio jerárquico (AHP)</p>		<p>Objetivo</p>	<p>- Localización de instalaciones multinivel (MLFLPs): Consiste en determinar que instalaciones abrir en cada nivel de atención para que cada cliente sea atendido a través de un o dos instalaciones abiertas mientras se minimiza el costo total.</p>
<p>A survey of healthcare facility location (Ahmadi, y col., 2016)</p>	<p>Descripción</p> <p>Este modelo fue revisado para el siguiente proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Problemas basados en cobertura en donde asume las localizaciones de la demanda requieren estar en el rango de una distancia de cobertura específica (o tiempo) de las instalaciones. - También suele utilizarse en problema de localización mediana minimizando los costos medios de distancia entre los puntos de demanda y las instalaciones a las que se les asigna. 	<p>Metaheuristic applications on discrete facility location problems: a survey (Basu, y col., 2014)</p>	<p>Objetivo</p>	<p>Describe variedades de métodos para la localización de instalaciones y a su vez, citando artículos o investigaciones científicas, proveyendo un marco global de la técnica.</p> <p>- Localización de instalaciones discretas: dispone de una lista exhaustiva de localizaciones potenciales para las instalaciones, mientras que, en el caso de la localización continua es especificado por las potenciales coordenadas de la instalación.</p> <p>- Para esto sus diferentes variantes de modelos son: Problema de localización de instalaciones no capacitadas (UFLP), p-Median problema (PMP), p-Center problema (PCP), problema de localización de instalaciones capacitadas (CFLP), problema de localización de cobertura máxima (MCLP) y centro de operaciones location problema (HLP), los mismo que dan respuesta positiva y</p>
	<p>Revisión exhaustiva de los problemas de localización de instalaciones de unidades múltiples que amplían varios problemas clásicos de localización de instalaciones y se consideran una subclase dentro del</p>		<p>Descripción</p>	

científica

Objetivo

Presenta una revisión exhaustiva de trabajos en modelado de localización de instalaciones jerárquicas. Los modelos publicados se clasifican según múltiples características, incluido el tipo de patrón de flujo, disponibilidad de servicio, configuración espacial, función objetivo, cobertura, niveles de red, elemento de tiempo, parámetros, Instalaciones, capacidad y aplicación en el mundo real. Finalmente identifica las brechas en la literatura actual y sugiere direcciones para futuros esfuerzos de modelado.

Hierarchical facility location problem: Models, classifications, techniques, and applications (Farahani, y col., 2013)

Descripción

Para un sistema de salud, la red de instalaciones jerárquicas puede constar de tres niveles que incluyen clínicas locales, hospitales y centros médicos. Las instalaciones más bajo nivel es la clínica local que proporciona servicios directos a pacientes ingresantes. Un hospital en el nivel medio proporciona Servicios a clínicas locales y realiza cirugías ambulatorias. El centro médico, de mayor jerarquía, presta servicios a El hospital y responde a los casos de pacientes hospitalizados. Para ello, la investigación provee ciertos modelos aplicables a la localización de instalaciones jerárquicas entre los cuales destaca el modelo de flujo único HFLP, modelo multiflujo HFLP.

Modelo de optimización utilizado para determinar la mejor ubicación.

Dentro de la presente investigación se ha recopilado información referente a modelos de localización de máxima cobertura, se aplicó procedimientos dentro de un rango establecido para delimitar el sector seleccionado, analizando la situación de obtener espacios libres para construcción de viviendas en la ciudad de Manta, cumpliendo con el objetivo se considera lo siguiente:

Un ejemplo claro del modelo de máxima cobertura se puede observar en la Figura 1 en donde muestra centros de atención A y B, para este enfoque se está considerando con mayor totalidad de la demanda constituida entre 5 y 8 centros que están cubiertos. (Alexandris, y col., 2012) establecen un criterio de cobertura en donde el área un cuadrado i se cubre en al menos b porciento, se considera cubierta.

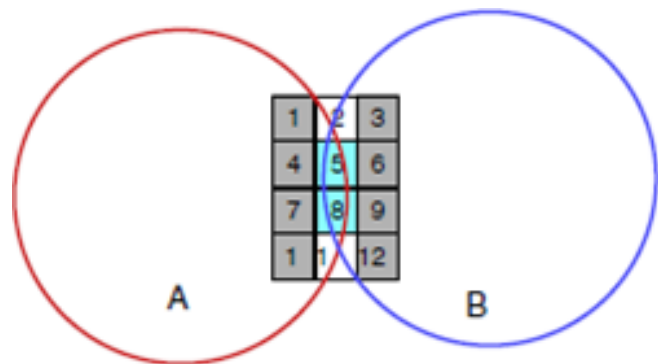


Fig. 1 Coberturas parciales. Tomado de Alexandris y Giannikos (2012).
Partial coverage. Taken from Alexandris and Giannikos (2012).

La función objetivo del modelo máxima cobertura por (Alexandris, y col., 2012) son similares a la propuesta de Church y Reville en 1974 para maximizar los puntos totales (ponderados) y las áreas que los centros de atención deben cubrir. Y desde entonces se han hecho numerosas aplicaciones y teorías al modelo clásico del MCLP. (Ortiz, y col., 2017, Murray, 2013)

Como se muestra en la gráfica podemos observar que el modelo indica de atención X y donde se asume que el total del área cubierta es la suma del área por el centro X y el centro Y.

En (Pardo, 2015) se propone un ejemplo de esta problemática donde se asume que el espacio de la demanda estaría compuesto por cuatro cuadrados A, B, C, y D los cuales se representan mediante sus centroides (en naranja) (ver Figura 2). En este ejemplo representativo si se habilita un centro de atención en un punto X, se observa que este cubre el centroide del cuadrado A entonces está considerado que está cubriendo la totalidad de la demanda, sin embargo, se observa que queda una gran porción desatendida.

2 Materiales y métodos.

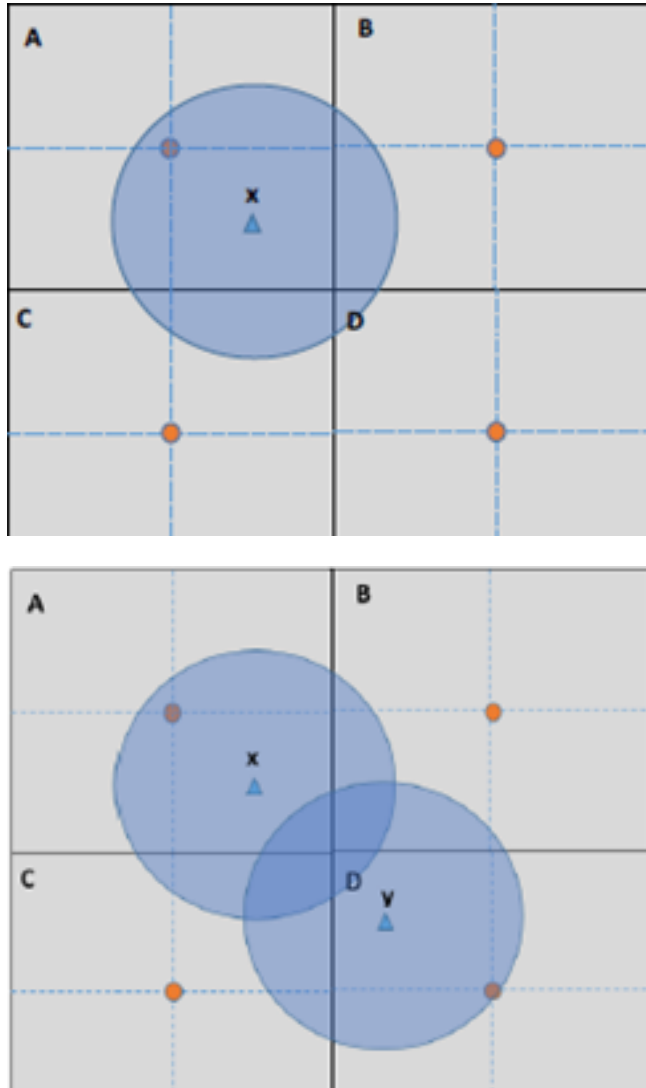


Fig. 2 Sobreestimación de la cobertura (arriba) y superposición de áreas de cobertura (abajo).

Coverage overestimation (top) and coverage area overlap (bottom).

Herramientas para la utilización del modelo MCLP.

Web Scraping

Es una técnica que sirve para extraer información de páginas web de forma “automatizada”.

Es importante aclarar que la palabra automatizado se usa con precaución, porque esto es posible siempre y cuando la estructura de la página web se mantenga constante o igual, por lo tanto, la estructura de la página cambia el código utilizado en web scraping y así la página de interés puede quedar obsoleto o desactualizado.

Python

Python es considerado poderosamente como una de las herramientas más importantes ante la comunidad internacional de SIG Libre. Actualmente, es el lenguaje de scripts

“oficial” de la librería GDAL/OGR, puede ser utilizado para desarrollar servidores web de mapas usando Mapserver bajo modo Mapscript, y recientemente se están desarrollando los vínculos con las interfaces de programación de los sistemas GRASS, SAGA y QGIS. Si consideramos las enormes capacidades que cuenta Python actualmente para el computo científico, y otras experiencias similares de desarrollo de sistemas ya que representa un ladrillo más de una plataforma computación geoespacial creciente para el desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión espacial basados en software libre. (Rey, 2012)

BeautifulSoup

Esta biblioteca se utiliza para analizar los documentos html creando un árbol de objetos python (páginas analizadas), que extrae datos a través de html.

Selenium:

Permite probar y registrar las interacciones con una aplicación web y luego repetir estas interacciones las veces que se deseen. Esta librería está basada exclusivamente en HTML y JavaScript.

Pandas:

Pandas es una biblioteca de Python y un paquete que proporciona una estructura de datos expresiva con alto rendimiento, además es una biblioteca rápida, flexible y más poderosa ampliamente utilizado para análisis de datos, manipulación de datos y almacenamiento de datos en archivos CSV, JSON.

El uso de las técnicas de web scraping ayudo a la recolección de datos, como parte importante del proyecto de vivienda, de esta manera se implementó el modelo matemático de localización de máxima cobertura en donde se estableció a la ciudad de Manta como participe en aplicar a esta investigación, utilizando programación lineal y el modelo antes dicho.

3 Adaptación del modelo de máxima cobertura.

El modelo tratado localiza espacios disponibles que permitan la construcción de viviendas, para esto fue necesario utilizar dos conjuntos; el primero es $i \in I =$ conjunto de nodos que representa un cliente, el segundo $j \in J =$ conjunto de nodos de ubicaciones candidatas para iniciar proyectos de construcción y cuando el modelo selecciona $y_i =$ si la instalación es ubicada en el nodo J, la variable P es el número máximo de instalaciones a seleccionar y d es la demanda.

Como resultado obtuvimos que utilizando el modelo de máxima cobertura junto a una base de datos extraída por medio de Web Scraping y utilizando programación Python se adaptó el modelo matemático de máxima cobertura para constatar los espacios óptimos y libres aplicado en la ciudad de Manta en la parte norte, sur y céntrica, evaluando en donde poder construir edificaciones para cualquier proyecto ya sea público o privado, a continuación, su modelamiento es:

Función objetivo

$$Max Z = \sum_{\{i \in I\}} d\{i\} x\{i\} \tag{1.1.1}$$

Restricciones:

$$\sum_{i \in I} a_{ij} y_i \geq x_i \quad \forall j \in J \tag{1.1.2}$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq P \tag{1.1.3}$$

Variables

d_i = < Demanda a cubrir >.

x_i = < 1 cuando el nodo $i \in I$ es abastecido $j \in J$ >.

y_j = < 1 si la instalación es ubicada en el nodo $j \in J$ >.

P = < número máximo de instalaciones a seleccionar >.

$I \in I$ = < conjunto de nodos que representa un cliente (nodos) >

$J \in J$ = < conjunto de nodos de ubicaciones candidatas (terrenos) >

$$a = \begin{cases} 1 & \text{si el cliente } i \in I \text{ puede ser cubierto por } j \in J \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases}$$

Arcos = < ubicaciones activas >.

3.2 Obtención de los datos para el modelo propuesto.

Con la ayuda del modelo de máxima cobertura se pretende lograr cubrir las necesidades del modelo reformulado, para el caso general este solo localiza centros de distribución y la innovación que se le da al modelo es la adaptabilidad de búsqueda geográfica de espacios libres dentro de rangos permisibles tanto a la zona norte como a la zona sur de la ciudad, dando respuesta positiva el poder de ubicar terrenos óptimos para familias y no tan solo para instituciones que contengan proyectos grandes.

Dado que se considera la importancia de los terrenos vacíos a los cuales se lo denomina puntos óptimos, se formula que los de mayor importancia estarán siempre cubiertos, mientras que aquellos que están a una distancia más allá de la predefinida, no estarán cubiertos. Un punto de demanda se considera cubierto si existe una instalación que pueda proporcionarle el servicio requerido dentro de la distancia predefinida en la localización de espacios óptimos para construcción.

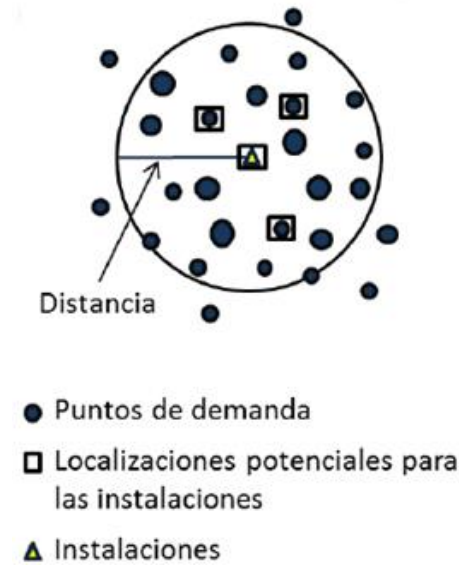


Fig. 3 Proceso de solución factible del MCLP con una instalación, cuatro localizaciones.

Feasible MCLP solution process with one facility, four locations.

En la Figura 3 se muestra una solución factible para el MCLP con una instalación, la cual está cubriendo un total de veintidós puntos de demanda. El tamaño de los puntos indica su nivel de importancia (demanda). Hay cuatro localizaciones potenciales para localizar la instalación. Se debe notar que hay siete puntos de demanda que no están cubiertos.

- La función objetivo (1.1.1) maximiza la demanda cubierta por el conjunto de instalaciones.
- La restricción (1.1.2) establece que una o más instalaciones estarán localizadas dentro del rango de distancia o cobertura predefinida a partir del punto de demanda
- La restricción (1.1.3) asegura el número de instalaciones a localizar. Por último, las variables indican el carácter binario x_i e y_j .

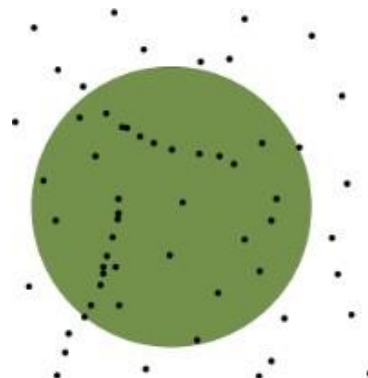


Fig. 4 Círculo de radio igual a la distancia típica en el centro medio del conjunto.

Circle of radius equal to the typical distance at the mean center of the set.

4 Discusión y Resultados

El modelo matemático planteado puede servir de referencia para la solución de instancias de gran tamaño, cuando se usan otras estrategias de solución con el modelo de localización, se puede tener en cuenta técnicas híbridas que incluyan métodos heurísticos que relacionen optimización científica matemática. Los resultados dependerán de la amplitud, precisión del rango que se le asigne al modelo y las restricciones en la adaptación que se le harán a este modelo de localización. Se trabajará con el software Python y complementos como librerías. Teniendo en cuenta que las zonas con alto potencial encontradas corresponden a los lugares óptimos que se encuentran ubicados cerca de instituciones, hospitales y centros comerciales, cubriendo el rango de la demanda y así poder saber dónde construir o que sitio es el más acorde en la ubicación libre. Los resultados presentados en este trabajo pueden servir como punto de referencia para futuras investigaciones.

Mediante la geolocalización (ver Figura 5 y 6) se obtuvieron las coordenadas de las instituciones (ver Tabla 2), como punto central se partió de la ciudad de Manta, aplicando los modelos de ubicación óptima de instalaciones.

Tabla 2 Ilustración 1- BD. Georreferenciación de unidades educativas y demanda de estudiantes.
Illustration 1- BD. Georeferencing of educational units and student demand

ENTIDAD	LATITUD	LONGITUD	DEMANDA
U.E. Kerly Annabel Torres Cedeño	-1.00348651	-80.6975895	1636
U.E. Manabí	-0.95636227	-80.7654001	226
U.E. "Leonardo Da Vinci"	-0.95381019	-80.767902	616
U.E. Fiscal Pedro Balda Cuccalón	-0.96489425	-80.7056535	1861
Humans Improving	-0.95720827	-80.7601346	30
José De Anchieta Fe Y Alegria	-0.97221002	-80.7141914	1467
Instituto Tecnológico Superior Luis Arboleda M.	-0.982616	-80.690049	837
U.E. Almirante H. Nelson	-1.00636204	-80.6883017	247
U.E. José Mendoza De Mora	-0.95450917	-80.7002037	1004
U.E. Particular Talentos De Manta	-0.9661608	-80.7599159	737
U.E. Replica Manta	-0.98168487	-80.719097	2521
U.E. Siglo XXI Tarqui	-0.96681736	-80.7137291	1843
Unidad Educativa Fiscomisional Juan Montalvo	-0.950149	-80.744606	1257
U.E. "El Porvenir"	-0.96780123	-80.7136704	837
Colegio Paquisha	-0.98888642	-80.7064068	1737
U.E. Fiscal Galileo Galilei	-0.95392915	-80.676888	2048
Escuela Particular Monte De Sion	-0.96048425	-80.720531	120
U.E. Particular Nazaret	-0.252287	-79.2047805	78
U.E. Eugenio Espejo	-0.9771746	-80.6901298	241
Escuela Particular Jaramijó	-0.95052938	-80.6394287	161
U.E.F. Emilio Bowen Roggiero	-0.98191842	-80.7243239	1512
U.E. Costa Azul	-0.97001644	-80.6766887	2876
Colegio Luis Arboleda Martínez	-0.94720537	-80.7364106	1079
U.E. Israel	-0.95113804	-80.7399375	690
U.E. Glenn Doman	-0.970499	-80.757854	274
U.E. Olga Meza Santana	-0.94868646	-80.7324575	493
U.E. José Salazar Mero	-0.9702299	-80.6878011	419
U.E. María Auxiliadora	-0.95861949	-80.7035986	789
U.E.P María Montessori	-0.95978499	-80.7115994	191
U.E Teresa De Calcuta	-0.97667116	-80.7132904	1201
U.E. Del Pacifico	-0.9589893	-80.7111497	137
U.E. Stella Maris	-0.94461512	-80.7242457	890
U.E.P Julio Pierregresse	-0.95364565	-80.7522732	724
U.E. Jocay	-0.95787368	-80.7178105	50
Colegio Internacional	-0.95036436	-80.732774	125
U.E. Pedro Fermin Cevallos	-0.94305424	-80.7258527	811

Para los valores longitudinales se toma como referencia al centro de la ciudad de Manta, entonces procedemos a realizar la conversión de UTM a Coordenadas Geográficas, y finalmente lo ubicamos en el mapa mediante la ayuda de

Georreferenciación.

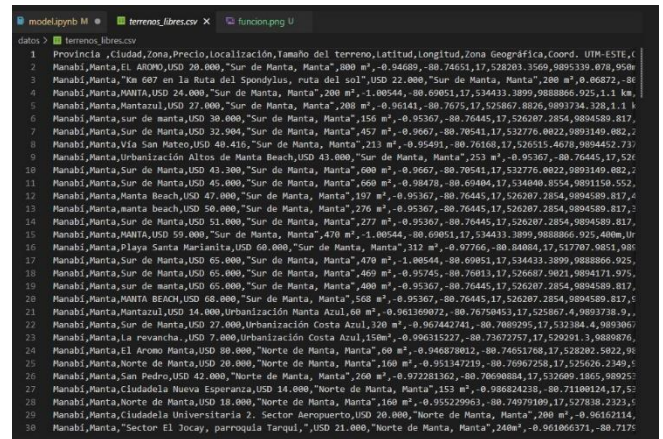


Fig. 5 Modelo MCLP trabajando internamente - Localizaciones potenciales libres. Elaboración propia.

MCLP model working internally - Free potential locations. Own elaboration.

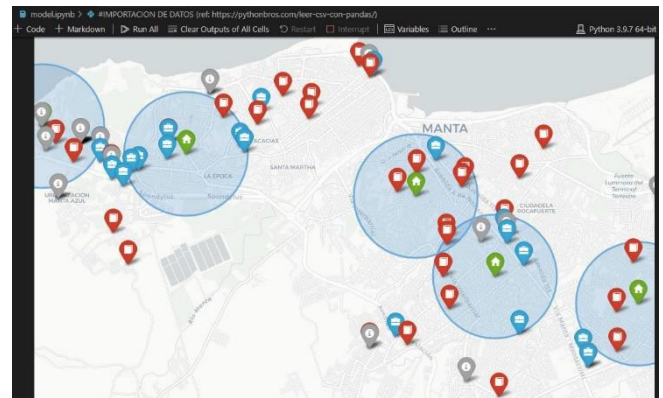


Fig. 6 Localizaciones potenciales óptimas para la construcción. Elaboración propia.

Optimal potential locations for construction. Own elaboration.

5 Conclusiones


Esta investigación determina la mejor ubicación bajo dos perspectivas: lograr una máxima cobertura por un lado y cubrir al mayor número de demanda por el otro. Debido al tamaño del problema, se establece una aproximación mediante algoritmos y utilización del modelo MCLP, los cuales permiten una mayor flexibilidad al momento de modelación disminuyendo los recursos necesarios. Para los modelos o aplicaciones futuras se podría considerar el enfoque orientado a la evaluación de proyectos, en el cual se analice la viabilidad financiera de ubicación o reubicación de un punto óptimo para construcción. Además de esto, la metodología se puede alimentar de mayor riqueza en la información para mejorar la precisión en los resultados.


Referencias

- Ahmadi, J. A., Syam, S., 2016. A survey of healthcare facility location.
- Alexandris, G., Giannikos, I., 2012. A new model for maximal coverage exploiting GIS capabilities. *European Journal of Operational Research*.
- Allahi, S., Christian, S., 2015. Un método integrado ahp-gis-mcplp para ubicar sucursales bancarias.
- Basu, S. S., Sarathi, G. P., 2014. Metaheuristic applications on discrete facility location problems: a survey. *Operational Research Society of India*.
- Boonmee, C. A., Asada, T., 2017. Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*.
- Calderón, L., 2012. Diseño de redes de logística inversa: una revisión. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*.
- Carrizosa, E., 2005. Algunas aportaciones de la investigación operativa a los problemas de localización.
- Church, R., 1974. The Maximal Covering Location Problem. *apers of the Regional Science Association*.
- Dantrakul, S. L., Pongvuthithum, R., 2014. Applied p-median and p-center algorithms for facility location problem.
- Fajardo, J. P., C., S. L., E., D., 2017. Herramienta software para modelar y resolver el problema de localización de máxima cobertura, un caso de estudio: Localizaciones de policías. *Revista de Investigación Operacional (RIO)*.
- Farahani, R. Z., Kazemzadeh, N., 2013. Hierarchical facility location problem: Models, classifications, techniques, and applications. *Computers & Industrial Engineering*.
- Handy, Taha, 2017. *Investigación de Operaciones*. Pearson 10ª ed. U. Autónoma de Madrid, UAM, U. Málaga, UMA.
- Lee, G., Murray, A. T., 2010. Cobertura máxima con requisitos de supervivencia de red en redes de malla inalámbricas. *nvironment and Urban Systems*. doi:10.1016/j.compenvu-rbsys.2009.05.004.
- Mosquera, P., C.J., 2015. Determinación de zonas óptimas para la localización de nuevas estaciones de bomberos en Bogotá mediante herramientas de análisis espacial. *Repositorio Universidad Militar Nueva Granada*.
- Murray, A. T., 2013. Applying Simulated Annealing to Location-planning Models. *Journal of Heuristics*.
- Ortiz, A., Contreras, L. G., 2017. Multi-level facility location problems. *European Journal of Operational Research*.
- Pardo, L., 2015. Modelo Modificado de Localización de instalaciones de máxima cobertura.
- Rey, M. S., 2012. Space–Time Analysis of Regional Systems”. *Geographical*.
- Winston, C. W., 2018. *Investigación de Operaciones*. Practical Management Science. (6a ed.).
- Xue, Y., Zongguo Wen, Z. C., 2016. Optimización de ubicación de instalaciones mineras urbanas con modelo de cobertura máxima en gis. *Revista de ecología industrial*. doi:10.1111/jiec.12467

Recibido: 10 de Agosto de 2023

Aceptado: 05 de Octubre de 2023

Richard Zambrano, Ing. en Sistemas: estudiante de la Maestría de Trayectoria de Investigación en Matemáticas. Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Correo electrónico: rzambrano5054@utm.edu.ec.
 <https://orcid.org/0000-0003-4963-5480>

Víctor Márquez, PhD: Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Correo electrónico: victor.marquez@utm.edu.ec.
 <https://orcid.org/0000-0003-2458-2415>