

Nuevo enfoque al problema de la localización óptima para equipamientos de justicia

Ruiz Orjuela, Liliana ; Lizarazo Salcedo, Iván ; León Sánchez, C.A.

DOI

[10.18848/2474-588X/CGP/v09i02/7-22](https://doi.org/10.18848/2474-588X/CGP/v09i02/7-22)

Publication date

2021

Document Version

Final published version

Published in

Revista Internacional de Tecnología, Conocimiento y Sociedad

Citation (APA)

Ruiz Orjuela, L., Lizarazo Salcedo, I., & León Sánchez, C. A. (2021). Nuevo enfoque al problema de la localización óptima para equipamientos de justicia. *Revista Internacional de Tecnología, Conocimiento y Sociedad*, 9(2), 7-22. <https://doi.org/10.18848/2474-588X/CGP/v09i02/7-22>

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.



VOLUMEN 9 NÚMERO 2

Revista Internacional de

Tecnología, Conocimiento y Sociedad

Nuevo enfoque al problema de la localización
óptima para equipamientos de justicia

LILIANA RUIZ ORJUELA, IVÁN LIZARAZO SALCEDO Y CAMILO LEÓN SÁNCHEZ

**REVISTA INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍA,
CONOCIMIENTO Y SOCIEDAD**

Primera Edición Common Ground Research Networks 2021
University of Illinois Research Park
2001 South First Street, Suite 202
Champaign, IL 61820 USA
Tel.: +1-217-328-0405
www.cgespanol.org

ISSN: 2474-588X (versión impresa)
ISSN: 2174-8985 (versión electrónica)

© 2021 (artículos individuales), autor(es)
© 2021 (selección y contenido editorial), Common Ground Research Networks

Todos los derechos reservados. Excepto propósitos de estudio, investigación, crítica o revisión permitidos bajo la legislación de derechos de autor, ninguna parte de este trabajo puede ser reproducida, en ningún formato, sin el consentimiento explícito por escrito del editor. Para otros tipos de permisos y dudas, por favor, escriba a: suporte@cgespanol.org

La *Revista Internacional de Tecnología, Conocimiento y Sociedad* es una publicación académica arbitrada bajo el proceso de revisión por pares.

Nuevo enfoque al problema de la localización óptima para equipamientos de justicia

(New Approach to the Problem of the Optimal Location for Justice Facilities)

Liliana Ruiz Orjuela,¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

Iván Lizarazo Salcedo,² Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Camilo León Sánchez,³ 3DGeoinformation Group. Facultad de Arquitectura, Universidad Técnica de Delft. Delft, Países Bajos

Resumen: El presente artículo muestra el desarrollo de un modelo de localización óptima, diseñado para responder ante el déficit en la oferta de equipamientos de justicia en la ciudad de Bogotá D. C. – Colombia. Este modelo de localización óptima tiene en cuenta criterios de eficiencia espacial y justicia territorial, así como aspectos normativos, geográficos y sociales que limitan la selección de los sitios óptimos, y utiliza técnicas de análisis multicriterio basado en lógica difusa. Este modelo pretende ser un aporte a los procesos de planificación y ordenación del territorio urbano y constituye una herramienta de análisis espacial enfocado en la atención de necesidades de seguridad y convivencia en la ciudad.

Palabras clave: localización óptima, Sistemas de Información Geográfica, criminalidad, lógica difusa, evaluación multicriterio, planeación urbana, justicia territorial, eficiencia espacial

Abstract: This article shows the development of an optimal location model, designed to respond to the deficit in the supply of justice facilities in the city of Bogotá D.C. - Colombia. This optimal location model considers criteria of spatial efficiency and territorial justice, as well as normative, geographical and social aspects that limit the selection of optimal sites and uses multicriteria analysis techniques based on fuzzy logic. This model aims to be a contribution to the planning and planning processes of the urban territory and constitutes a tool for spatial analysis focused on attending to the needs of security and coexistence in the city.

Keywords: Optimal Location, Geographic Information Systems, Crime, Fuzzy Logic, Multi-Criteria Evaluation, Urban Planning, Territorial Justice, Spatial Efficiency

Introducción

Los modelos de localización óptima buscan encontrar la mejor ubicación de los sitios de oferta de un servicio, para atender a la población que demanda estos servicios (Bosque et al. 2012), de manera, que se cubra eficientemente su demanda actual y futura (Ramírez 2015). Estos modelos también son conocidos como modelos de localización – asignación (Church 1999), (Rushton 2014), (Bustos 1993), (Bosque et al. 2012).

La localización óptima de un nuevo equipamiento dependerá del fin para el cual se requiere instalar, es decir, la mejor ubicación para un equipamiento de justicia será distinta que la mejor ubicación para un hospital o un colegio, porque debe tener en cuenta la distribución espacial de

¹ Corresponding Author: Liliana Ruiz Orjuela, Cra 30 # 45 -03, Bogotá D.C., Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 111321, Colombia. email: lruizo@unal.edu.co

² Corresponding Author: Iván Lizarazo Salcedo, Cra 30 # 45 -03, Bogotá D.C., Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 111321, Colombia. email: ializarazos@unal.edu.co

³ Corresponding Author: Camilo León Sánchez, Room BG. West.550 Building 8 (BK City) Delft University of Technology Julianalaan 134 Delft 2628BL the Netherlands. email: c.a.leonsanchez@tudelft.nl

la población a la cual está dirigido. Sin embargo, existen elementos comunes para la ubicación de cualquier equipamiento (Bosque et al. 2012):

- *Demanda:* se refiere a la localización de la población objetivo, es decir los usuarios que utilizan y utilizarán el servicio y que se encuentran distribuidos en el área de estudio.
- *Sitios de oferta:* además de los sitios en donde se encuentra instalado el equipamiento actualmente, se incluyen los sitios en los que posiblemente pueda instalarse el servicio, que se identifican como sitios candidatos.
- *Vías de transporte:* son los ejes viales que comunican los sitios de oferta con la demanda.

Recientemente, en los modelos de localización óptima se incluyen dos criterios que buscan asegurar la equidad y la justicia para la ubicación del sitio óptimo; estos son: la eficiencia espacial, que se refiere a disminuir la distancia existente entre la oferta y la demanda, y la justicia territorial, que asegura que la ubicación de los sitios de oferta esté equitativamente distribuida para toda la población que los requiere (Bosque et al. 2012).

En Bogotá D.C., el gobierno local, a través de la Secretaría de Seguridad, Convivencia y Justicia (SDSCJ), tiene planificado la ampliación de la red de equipamientos de justicia en donde se atiende a la ciudadanía en justicia formal⁴ y no formal⁵ (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2016). Teniendo en cuenta que, actualmente existe un déficit en la oferta institucional de servicios de justicia no formal, surgió la necesidad de desarrollar un modelo de localización óptima de equipamientos de justicia.

El objetivo de esta investigación fue desarrollar un modelo de localización óptima para el sistema de equipamientos de seguridad, convivencia y justicia en la ciudad de Bogotá D.C., mediante la adaptación de un modelo de localización – asignación [(Boonmee et al. 2017), (Ramírez 2011), (Tapia y Troncoso 2008), (Araya 2011), (Bosque et al. 2012), (Gascón et al. 2015), (Moreno et al. 2010)] y el uso de técnicas de lógica difusa [(Zadeh 1965), (Ramírez et al. 2005), (Morcillo 2015), (Hanss 2005)], y análisis multicriterio [(Saaty 2008), (Malczewski 2006), (Westen 2011), (Barredo et al. 2005), (Bersani et. al. 2015) (Jeong et al. 2014)].

Para ello, se analizaron variables geográficas y aspectos de la norma existente (Decreto 190 de 2004, Decreto 563 de 2007, Plan Distrital de Desarrollo 2016 - 2020), que determinan la selección del sitio óptimo. El modelo desarrollado en esta investigación permite determinar los sitios óptimos para los equipamientos de justicia, incluyendo, lotes aptos, áreas de servicio, áreas aptas de instalación y áreas priorizadas.

Los estudios citados anteriormente permitieron identificar los conceptos, métodos y técnicas que se han reportado en la literatura para establecer la ubicación óptima para la ampliación de la oferta en diversos tipos de servicios. En esta investigación se adaptaron para la localización de equipamientos de justicia, mediante el análisis de la demanda (Getis 1995), teniendo en cuenta los registros oficiales de delitos (Barreras et al. 2016), (Mejía et al. 2015), (Behm Chang 2018) y la densidad de la población (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2018).

A pesar de que existen criterios y técnicas que son conceptualmente claros, su aplicación práctica se dificulta debido a la diversidad de variables geográficas y aspectos normativos, que inciden en la selección del sitio óptimo y que agregan complejidad al modelo de localización óptima, porque restringen la posibilidad real de instalar un equipamiento en el territorio. Por lo mencionado, esta investigación pretende contribuir a la solución del problema planteado mediante el estudio, análisis y valoración de las múltiples variables del entorno que afectan la identificación del sitio óptimo.

⁴ Está conformada por la rama judicial del poder público, juzgados, fiscalía y policía judicial.

⁵ Son instituciones gubernamentales en las cuales se resuelven conflictos o litigios en apoyo a la justicia formal. Dentro de las entidades que representan esta modalidad en Bogotá están las Comisarías de Familia, las Casas de Justicia, las Unidades de Mediación y Conciliación, las Inspecciones de Policía, entre otras.

Materiales y metodos

Zona de estudio

En la Figura 1, se muestra la zona de estudio, que corresponde al área de suelo urbano de Bogotá D.C, cuya extensión es de 379.4 km², dentro de la cual se encuentran diecinueve (19) localidades urbanas, junto con la ubicación de los trece (13) equipamientos de Casas de Justicia (CJUS) en el año 2018. Las Casas de justicia son centros multiagenciales de información, orientación, referencia y prestación de servicios a la ciudadanía para la resolución de conflictos, aplicando mecanismos de justicia formal y no formal. El sistema de equipamientos para el Distrito Capital se define en el Decreto 190 de 2004 y Decreto 563 de 2007 - Plan maestro de equipamientos de seguridad ciudadana, defensa y justicia.

En la Tabla 1, se muestra la distribución de área en km² de las localidades, la población (número de habitantes) y la cantidad de Casas de Justicia instaladas, para el año 2018 en la ciudad de Bogotá D.C. De las 19 localidades urbanas, 11 cuentan con al menos una Casa de Justicia instalada, en la localidad de Suba se ubican 2 Casas de Justicia y en las demás localidades no se tiene instalada ninguna Casa de Justicia.

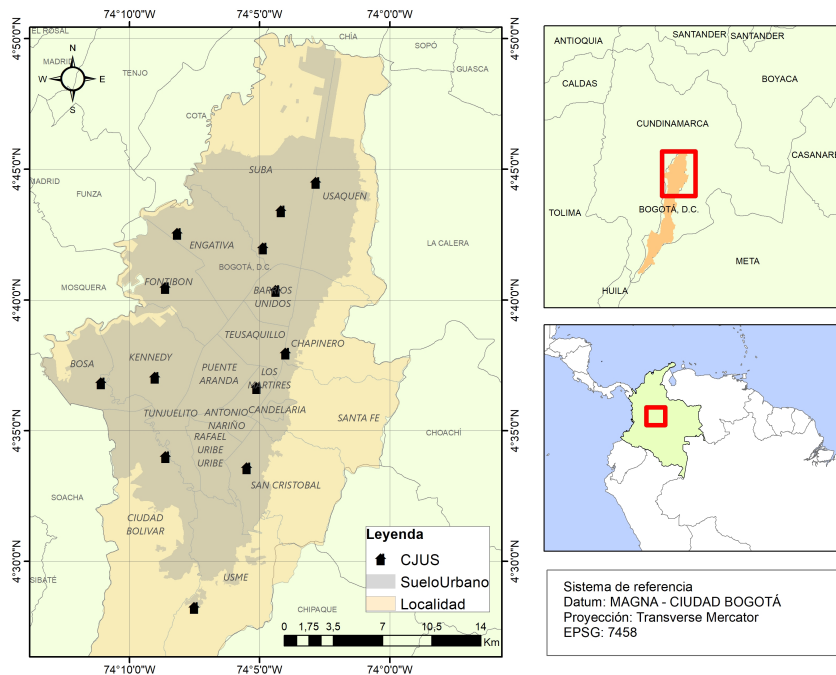


Figura 1: Localización de la zona de estudio y distribución de los equipamientos de justicia en Bogotá D.C. (2018)⁶
Fuente: Elaboración propia, 2020.

⁶ Datos: Equipamientos de Casas de Justicia - Secretaría de Seguridad, Convivencia y Justicia de Bogotá D.C. Fuente: datos temáticos Localidad, Suelo urbano - IDECA, Municipios de Colombia – Datos abiertos y Países latinoamericanos - Tapiquén.

Tabla 1: Distribución de área, población y número de equipamientos por localidad en Bogotá D.C.⁷

Localidad	Área km ²	Población 2018	Casas de Justicia instaladas
Usaquén	65,20	475275	1
Chapinero	38,00	126192	1
Santa Fe	45,17	93857	0
San Cristóbal	49,09	392220	1
Usme	215,0	342940	1
Tunjuelito	9,91	186383	0
Bosa	23,93	753496	1
Kennedy	38,58	1230539	1
Fontibón	33,28	424038	1
Engativá	35,88	883319	1
Suba	100,5	1315509	2
Barrios Unidos	11,90	270280	1
Teusaquillo	14,19	140135	0
Los Mártires	6,51	93248	1
Antonio Nariño	4,88	109199	0
Puente Aranda	17,31	218555	0
La Candelaria	2,06	22243	0
Rafael Uribe Uribe	13,83	348023	0
Ciudad Bolívar	130,0	748012	1

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Datos

Para el modelo de localización óptima se utilizó la siguiente información:

- Malla vial de Bogotá D.C.⁸, que corresponde al conjunto de líneas que definen los ejes viales, con una longitud de 1296.2 km, con la cual se creó la red de transporte (dataset de red) para el modelo de localización óptima.
- Equipamientos instalados, cuyo número actual asciende a 13, que son los puntos que representan las Casas de Justicia⁹.
- Puntos candidatos, son puntos que representan los sitios en donde posiblemente puede ser instalado el equipamiento - resultado del análisis multicriterio con las zonas aptas.
- Puntos de demanda, que representan la ubicación de los hechos de delitos y son el resultado del análisis de conflictividad.

Para obtener los puntos de demanda se utilizaron los siguientes datos de delitos en Bogotá durante el año 2018, de acuerdo con los registros de la Policía Nacional:

- Cifras de delitos de alto impacto del Sistema de Información Estadístico, Delincuencial, Contravencional y Operativo - SIEDCO.
- Registros de comparendos del Sistema de Registro Nacional de Medidas Correctivas - RNMC.

La información geográfica de los hechos delictivos se encuentra disponible al público para descarga en los servicios de la Secretaría de Seguridad, Convivencia y Justicia y en la plataforma de Mapas Bogotá¹⁰.

⁷ Proyecciones de población año 2018 por localidad en Bogotá D.C. - Secretaría Distrital de Planeación. Equipamientos de Casas de Justicia - Secretaría de Seguridad, Convivencia y Justicia de Bogotá D.C.

⁸ Disponible en el enlace: <https://portal.ideca.gov.co/dataset/malla-vial-integral-bogota-d-c-1>

⁹ Disponible en: <https://www.datos.gov.co/dataset/Casa-de-Justicia-Bogot-D-C-/ajkb-8a39>

La información para el análisis multicriterio fue recopilada de las siguientes entidades distritales.

- Secretaría Distrital de Planeación: Usos del suelo, zonas de afectación, zonas de reserva, sistema de equipamientos, áreas de actividad, índice de ocupación, índice de construcción, índice de altura.
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER): Amenaza por inundación, amenaza por remoción en masa.
- Secretaría de Planeación: densidad poblacional.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE): proyecciones poblacionales.

Análisis de demanda

Para estimar la demanda de los equipamientos de justicia, se extrajeron los datos de hechos de delitos de alto impacto del SIEDCO y los comportamientos de querellas y contravenciones del RNMC, ocurridos durante enero a diciembre del año 2018 en la ciudad de Bogotá D.C.

Procesamiento de datos de demanda usando lógica difusa

En la Figura 2 se muestra el proceso desarrollado para analizar la información de la demanda mediante lógica difusa. Con la capa de tipo punto de los hechos de delitos se creó la capa ráster de delitos. Posteriormente, a la capa ráster se le realiza una transformación usando la función sigmoïdal, tomando el campo de la cantidad de hechos de delitos y asignando los valores de pertenencia de la variable (entre 0 y 1) que se muestran en la Tabla 2, la clasificación del ráster muestra las zonas de baja, moderada, crítica y altamente crítica para la concentración de hechos de delitos en la ciudad.

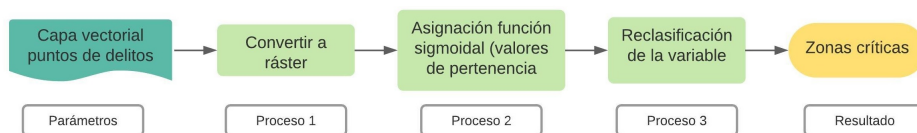


Figura 2: Procesamiento lógica difusa para el análisis de demanda
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 2: Clasificación de los datos para el análisis con lógica difusa

<i>Clasificación cantidad de hechos de delitos</i>	<i>Descripción</i>
De 0 a 0.3	Zona de baja concentración de delitos
De 0.3 a 0.5	Zona moderada en concentración de delitos
De 0.5 a 0.7	Zona crítica en concentración de delitos
De 0.7 a 1	Zona altamente crítica en concentración de delitos

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Análisis Multicriterio de zonas aptas

En la Figura 3 se muestra el proceso desarrollado para calcular las zonas aptas de instalación de nuevos equipamientos. Con ayuda del análisis multicriterio se realiza la selección de parámetros normativos y geográficos, así como su correspondiente peso en el modelo, estos

¹⁰ Enlace web: <https://oaiie.scj.gov.co> y <https://mapas.bogota.gov.co>

se transforman de tipo vectorial a ráster y luego, se reclasifican para definir zonas aptas, moderadamente aptas y no aptas.

Posteriormente, se realiza el proceso de análisis multicriterio para asignar una ponderación a cada parámetro, los pesos definidos se muestran en la Tabla 3. Luego, se realiza la superposición ponderada de las capas, en la cual se interceptan con el fin de calcular las zonas aptas de instalación.

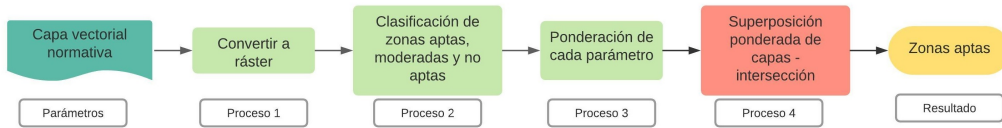


Figura 3: Diagrama del proceso de análisis multicriterio.
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para determinar el grado de importancia de cada parámetro se utiliza la escala de comparación de pares y posteriormente, se asigna el grado de importancia con respecto a los demás parámetros, luego se procede a calcular el vector prioridad que se muestra en la Tabla 3, con los pesos asignados a cada uno de los parámetros o capas vectoriales definidas (parámetros A - I) se realizó la sobreposición ponderada de las capas.

Tabla 3: Valoración de los parámetros con el análisis multicriterio

Parámetro	Valoración	
	Vector prioridad	Ponderación
A - Distancia a otro equipamiento	0,06	6
B - Distancia malla vial	0,03	3
C - Usos del suelo	0,05	5
D - Inundación	0,22	22
E - Remoción en masa	0,19	19
F - Zonas de afectación	0,15	15
G - Zonas de reserva	0,12	12
H - Sistema de equipamientos	0,08	8
I - Actividad uso del suelo	0,01	10
Total	1	100

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Definición del modelo de localización – asignación

Basado en los modelos P-mediano, Minisum o Mindistance (Bosque, Moreno, et al., 2012), se define la formalización del problema de localización óptima mediante la siguiente expresión:

Entradas:

i = Índice del nodo de demanda

j = Índice de las potenciales instalaciones (sitios candidatos).

d_i = Demanda de nodo i .

t_{ij} = Coste de transporte o distancia del punto de demanda en i al centro j .

x_{ij} = Proporción de la demanda de i asignada al centro j .

k = Número de equipamientos a localizar.

Variables:

$Y_j = 1$, si se localiza una instalación en sitio j , 0 si no.

$X_{ij} = 1$, si la demanda del nodo i es servida por instalación j , 0 si no.

Función Objetivo:

$$\text{Minimizar } F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} t_{ij} X_{ij} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Restricciones:

Ubicar k instalaciones:

$$\sum_{j=1}^n y_j = k \quad \text{Ecuación 2.}$$

Cada nodo asignado a una instalación:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, m \quad \text{Ecuación 3.}$$

Solo se asigna si está construido:

$$y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j = 1, \dots, n \quad \text{Ecuación 1.}$$

Naturaleza de las variables:

$$0 \leq x_{ij} \leq y_j, \quad \forall i=1, \dots, m; j=1, \dots, n \quad \text{Ecuación 2.}$$

Determinación de sitios óptimos

El sitio óptimo para los equipamientos de justicia se calculó a partir del modelo de localización - asignación diseñado, para ello se requiere:

- Puntos de demanda, que para el modelo son los hechos de delitos del año 2018, atendidos en el equipamiento.
- Puntos de oferta, ubicación actual de los equipamientos instalados o existentes.
- Puntos candidatos, puntos donde posiblemente se puede instalar el nuevo equipamiento (calculados mediante el análisis multicriterio, zonas de concentración del delito y densidad poblacional). Son puntos de ubicación que cubren el área de estudio o la zona apta de instalación.
- Malla vial, que corresponde a los ejes viales de la ciudad de Bogotá, con la cual se creó la red de transporte (dataset de red).

El flujo de trabajo se ha configurado usando el módulo *Model Builder* del programa ArcGIS¹¹ que incluye los procesos asociados al modelo de localización óptima, con datos de la localidad de Suba – Bogotá D.C, para que pueda ser reproducido y estudiado. Los datos de este modelo se encuentran en el siguiente enlace¹²: <https://n9.cl/q5i17>

¹¹ <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>

¹² Para su uso se requiere: Licencia de ArcGIS (versión 10.5 o superior), extensiones de Spatial Analyst y Network Analyst activas. Descargar la información en su computador en la carpeta C:/

Resultados

Análisis de conflictividad mediante lógica difusa

Como resultado del análisis de conflictividad se realizó la clasificación de concentración de delitos del SIEDCO y comportamientos del RNMC en la ciudad de Bogotá D.C., mediante el análisis de lógica difusa con datos correspondientes al año 2018.

En la Figura 4 se muestran la concentración de los delitos de alto impacto (Delitos sexuales, Violencia intrafamiliar, extorsión, homicidios, hurto a vehículos, hurto a personas, lesiones personales, tráfico o producción de estupefacientes) ocurridos entre enero a diciembre de 2018 en Bogotá D.C., en la cual se observa una zona altamente crítica ubicada en las localidades de Los Mártires, Candelaria y Teusaquillo, y una zona crítica en la localidad de Kennedy.

En la Figura 5, se muestra la concentración de comportamientos (Amparo al domicilio, conductas contrarias a la solidaridad y buena vecindad, manejo inadecuado de basuras, ocupación indebida del espacio público, perturbación de la tranquilidad) del RNMC en la ciudad de Bogotá D.C., se observa una zona altamente crítica en el centro de la ciudad, en la localidad de Los Mártires y Candelaria, de igual forma algunas zonas críticas en las localidades de Kennedy, Bosa, Tunjuelito y Rafael Uribe.

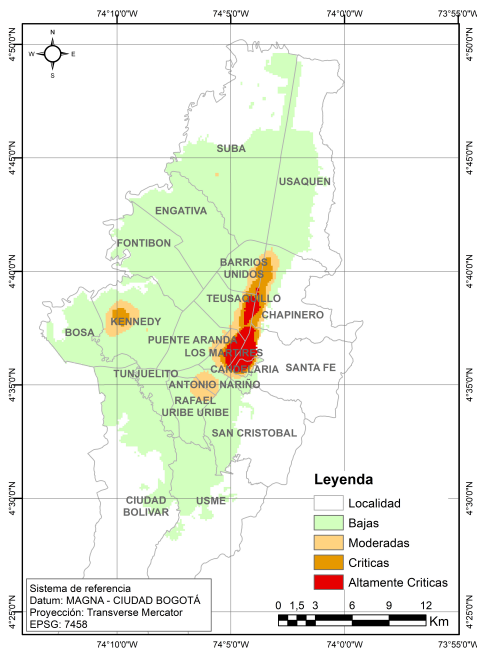


Figura 4: Clasificación de delitos 2018.
Fuente: Elaboración propia, 2020.

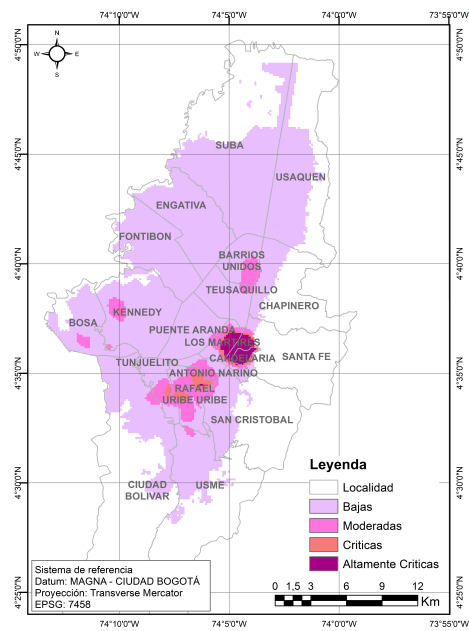


Figura 5: Clasificación de comportamientos del RNMC
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Análisis de densidad poblacional

Los datos muestran las mayores concentraciones de la población por Unidad de Planeación Zonal (UPZ) para el año 2018, estimadas por la Dirección de Información, Cartografía y

Estadística de la Secretaría de Planeación en donde se evidencia que la mayor densidad poblacional está ubicada en las UPZ del sur y parte noroccidente de la Ciudad, principalmente en las localidades de Bosa, Kennedy, Suba y Engativá.

En la Figura 6 se muestra en color rojo las UPZ con mayor concentración poblacional (301 a 601 Hab/Ha) y en verde las de menor concentración (1 a 50 Hab/Ha).

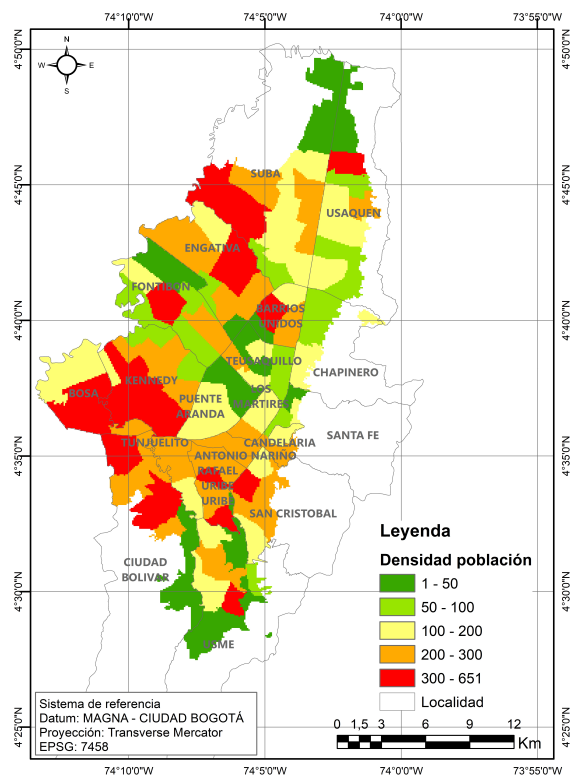


Figura 6: Densidad poblacional (Hab/Ha) 2018 por UPZ.
Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la Tabla 4 se muestran las cinco UPZ de mayor densidad poblacional (Hab/Ha: Número de habitantes por hectárea) estimada para el año 2018 (Alcaldía Mayor de Bogotá 2018).

Tabla 4: UPZ de mayor densidad poblacional (Hab/Ha) en 2018¹³

UPZ	Nombre UPZ	Área Ha	Población	Densidad poblacional
81	Gran Britalia - Kennedy	180	93846	522
28	El Rincón – Suba	710	379835	535
84	Bosa Occidental - Bosa	430	230354	535
66	San Francisco - Ciudad Bolívar	179	97381	545
82	Patio Bonito - Kennedy	317	223088	703

Fuente: Elaboración propia, 2020.

¹³ Datos de la Secretaría de Planeación. Proyecciones de población 2005-2020.

Análisis multicriterio

Las variables vectoriales identificadas para determinar las zonas aptas de instalación se presentan a continuación:

- A. Distancia a otro equipamiento del mismo servicio (Casas de Justicia): se estipula una distancia entre equipamientos de 1500 metros.
- B. Distancia a malla vial arterial, principal, complementaria o intermedia: se define una distancia apta de 200 metros.
- C. Clasificación usos del suelo (urbano, expansión, rural) (En el marco del Decreto 190 de 2004 – Plan de Ordenamiento Territorial y Ajuste por Resolución 228 de 2015 e incorporación de legalizados): La delimitación de las capas está comprendida en el área de suelo urbano.
- D. Amenaza por inundación (Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático - IDIGER) Decreto 190 de 2004.
- E. Amenaza por remoción en masa (Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático - IDIGER).
- F. Zonas de afectación (proyectos de renovación urbana): Avenida Longitudinal de Occidente (ALO), Corredor de la Troncal Av J. E. Gaitán (Cl 26) (Avenida Ciudad de Lima (AC 19) con Kr 3, en el trayecto de la AK 3-Av J. E. Gaitán (Cl 26) y hasta Carrera 100; Exclusión de Áreas de la Zona de Reserva - Proyecto Transmicable; Intersección Avenida Transversal de Suba con ALO.
- G. Zona de reserva (Dirección del Taller del Espacio Público, Secretaría Distrital de Planeación, Dirección de Patrimonio y Renovación Urbana): Zonas de reserva para espacio público, obras complementarias de Transmilenio, Metro, proyectos de infraestructura en la Ciudad.
- H. Sistema de Equipamientos por Servicio Social: Educación, Integración social e igualdad de oportunidades, Cultura, Salud, Culto, Deportivo y recreativo, Educación superior, Seguridad y soberanía alimentaria, Sedes administrativas, Recintos feriales, Cementerios y servicios funerarios.
- I. Áreas de actividad - Uso del suelo (Decreto 190 de 2004 - Capitulo 1. art 343, 344).

Determinación de sitios óptimos y zonas aptas

Los resultados se definen de la siguiente manera:

- Sitio óptimo: sitio determinado con el modelo de localización – asignación, que representa la mejor ubicación para instalar un nuevo equipamiento de justicia.
- Área de servicio: delimita el área de cubrimiento de cada equipamiento con el fin de atender de manera equitativa e igualitaria las necesidades de la población a servir.
- Área apta de instalación: corresponde a las zonas en las que es posible normativa y geográficamente instalar un equipamiento de justicia.
- Área apta priorizada: corresponde a las zonas en las que es posible normativa y geográficamente instalar un equipamiento de justicia, así como la priorización de instalación de equipamientos dada una alta concentración de delitos y de población.
- Lotes aptos: selección de lotes que cumplen con los parámetros urbanísticos y arquitectónicos (índice de ocupación, altura y construcción) y además se encuentran dentro de las áreas aptas y aptas priorizadas de instalación.

En la Figura 7, se muestra la ubicación de los sitios óptimos, la zonificación de áreas aptas y áreas aptas priorizadas. Las áreas aptas de instalación se representan con el color verde y las áreas aptas priorizadas con el color amarillo, los sitios instalados con el punto de color negro, los sitios óptimos con el color rojo.

El área cubierta por las zonas aptas priorizadas es de 6.1 km² y zonas aptas de 81,9 km², para los equipamientos de justicia el área total de suelo urbano en Bogotá D.C. es de 379.4 km².

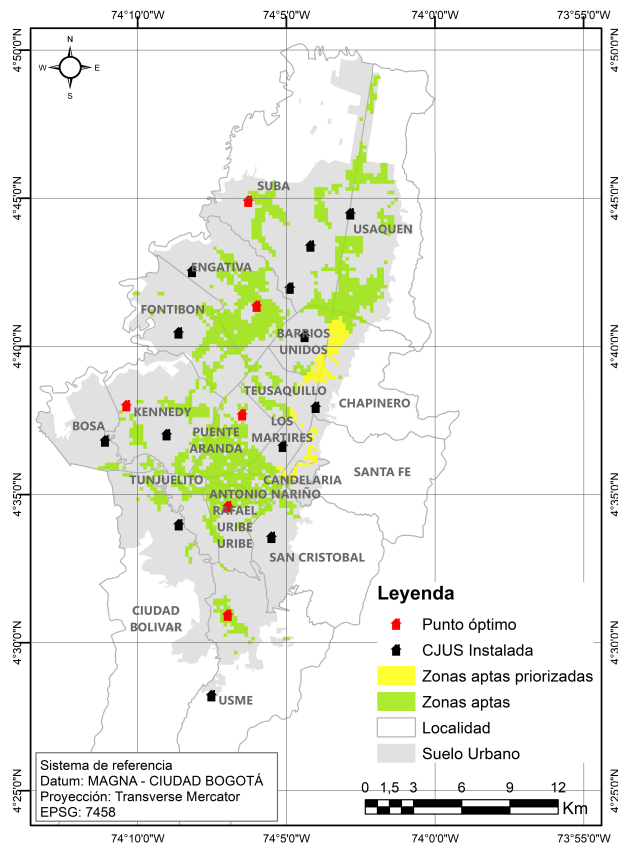


Figura 7: Ubicación de los sitios óptimos en las zonas aptas de instalación y aptas priorizadas
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Identificación de lotes disponibles

Para la selección de los lotes disponibles en la zona apta de instalación se tiene en cuenta los siguientes aspectos urbanísticos y arquitectónicos:

- Índice de ocupación para cada equipamiento: Primer piso: 0.62 incluido 0.08 de cesión a espacio público. Se define como la proporción del área de suelo que puede ser ocupada por edificación en primer piso bajo cubierta (Art. 2. Decreto 2181 de 2006).
- Índice de altura para cada equipamiento: Tres a cuatro pisos.
- Índice de construcción: corresponde a 956.46 m² para las Casas de Justicia. Se define como el número máximo de veces que la superficie de un terreno puede convertirse por definición normativa en área construida (Art. 2. Decreto 2181 de 2006).

En la Figura 8, se representan los sitios óptimos con el punto de color rojo y en negro los sitios instalados, el área de servicio de los sitios óptimos en colores, en verde claro y amarillo las zonas aptas y priorizadas respectivamente, y los lotes identificados como aptos en verde

oscuro. Para las Casas de Justicia se encontraron un total de 180 lotes disponibles ubicados dentro de la zona apta de instalación.

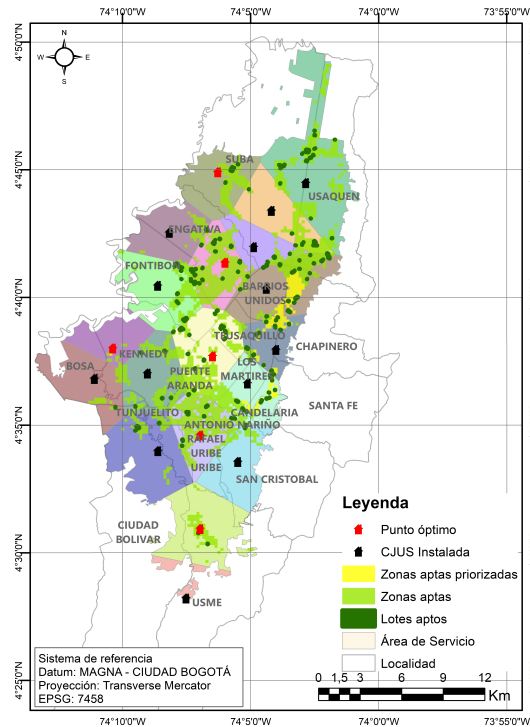


Figura 8: Identificación de lotes disponibles en zonas aptas y aptas priorizadas
 Fuente: Elaboración propia, 2020.

Por otra parte, en la Tabla 5 se muestra la cantidad de lotes aptos encontrados que cumplen con las condiciones de índice de construcción e índice de altura, dentro del área de servicio del punto óptimo (a una distancia aproximada de 1 km al punto óptimo calculado). Se decide excluir del conteo de lotes aptos el índice de ocupación, debido a que este parámetro fue calculado y está sujeto a cambios físicos del predio, a diferencia del índice de construcción y altura que están sujetos a la normatividad y aunque también pueden cambiar no fueron calculados, sino que fue información extraída de la capa de lotes.

Tabla 5: Lotes aptos identificados por equipamiento

Id	Equipamiento	Norte	Este	Lotes Aptos
1	Sitio óptimo Kennedy	89408,29	104117,01	0
2	Sitio óptimo Usme	95713,72	91078,66	2
3	Sitio óptimo Rafael Urbe	95713,72	97833,65	8
4	Sitio óptimo Puente Aranda	96613,72	103549,42	14
5	Sitio óptimo Engativá	97513,72	110304,42	26
6	Sitio óptimo Suba	96987,63	116840,84	4

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la Tabla 5 se observa, para el sitio óptimo en la localidad de Kennedy no se encontró disponibilidad de lotes.

Discusión

El modelo de localización desarrollado para el sistema de equipamientos de seguridad muestra un nuevo enfoque para el problema de la localización óptima, teniendo en cuenta tanto los patrones espaciales de ocurrencia de hechos delictivos, como la localización geográfica de lotes que cumplan las restricciones normativas, con el propósito de encontrar las mejores ubicaciones que satisfagan los criterios de eficiencia espacial y justicia territorial.

Para el desarrollo del modelo se utilizaron técnicas de evaluación multicriterio para identificar las restricciones de tipo normativo y geográfico en la ciudad. Así mismo, mediante el análisis de lógica difusa fue posible identificar zonas de concentración de incidencias delictivas en el espacio, que potencialmente permiten dirigir los recursos y concentrar esfuerzos en la reducción y prevención del delito.

Al tener en cuenta en el modelo de localización óptima el análisis y valoración de criterios normativos, geográficos y demográficos que pueden restringir o potenciar la ubicación del equipamiento, en este caso el Plan de Ordenamiento Territorial y Plan Maestro de equipamientos de justicia, es posible observar el comportamiento de un escenario actual de análisis en el que se pueden obtener resultados más acertados y enfocados a la labor del planificador y a los procesos de ordenación del territorio.

Para algunos sitios óptimos no se encontraron lotes disponibles cercanos que cumplieran con las condiciones urbanísticas y arquitectónicas del Plan Maestro. En dichos casos, es necesario identificar aquellos lotes cercanos a los sitios óptimos a un radio de distancia dentro de las áreas aptas y que cumplan con el área de construcción, sin tener en cuenta los parámetros arquitectónicos como índice de construcción o número de pisos, ya que la construcción dependerá de proyectos de inversión y planificación posteriores.

El modelo desarrollado propone los sitios óptimos para que se pueda, a partir de la identificación de zonas aptas y zonas aptas priorizadas, identificar los lotes que cumplan con los criterios urbanísticos y arquitectónicos del plan maestro para instalar los nuevos equipamientos.

Conclusiones

El modelo de localización óptima para los equipamientos de justicia utilizó técnicas de evaluación multicriterio y lógica difusa para cumplir con el objetivo principal y encontrar los sitios óptimos para nuevos equipamientos de justicia, permitió encontrar las zonas aptas de instalación, áreas de servicio, zonas aptas priorizadas y lotes aptos.

Adicionalmente, mediante el análisis de incidencias delictivas se encontró que, existen zonas críticas o puntos calientes en la ciudad de Bogotá, que, de acuerdo con los datos de delitos presentados en el año 2018, es importante priorizar en la atención de servicios de seguridad, convivencia y justicia, para la instalación de nuevos equipamientos.

Por otro lado, se encontró que, al realizar el análisis de la oferta actual de equipamientos, existen zonas en la ciudad sin cubrimiento en la atención de servicios de seguridad, convivencia y justicia, ya que su distribución actual no cubre la totalidad del área de suelo urbano de Bogotá. Lo anterior determina que las personas deban realizar mayor desplazamiento para acceder a estos servicios.

En la solución al problema de localización óptima es de gran importancia incluir aspectos geográficos, normativos y sociales que restringen o potencian la selección del sitio óptimo, con el fin de permitir la identificación de lotes aptos en los cuales sea posible la instalación efectiva de los nuevos equipamientos.

REFERENCIAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2004. Decreto 190 de 2004. *Objetivos para el ordenamiento territorial del distrito capital en perspectiva regional*. Bogotá D.C. Colombia. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=13935>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2007. Decreto 563 de 2007. *Plan Maestro de Equipamientos de Seguridad Ciudadana, Defensa y Justicia*. Bogotá D.C. Colombia. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=27753>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2016. *Plan Distrital de Desarrollo 2016 - 2020*. Bogotá D.C., Colombia. <http://www.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/planeacion/tomo1-digital.pdf>
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Planeación, Subsecretaría de Información y Estudios Estratégicos, 2018. *Análisis demográfico y proyecciones poblacionales de Bogotá*. Bogotá D.C. Colombia. http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/demografia_proyecciones_2017_0.pdf
- Araya, F. 2011. *Localización óptima y redimensionamiento de escuelas rurales en Chile*. Universidad de Chile. Chile. http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-araya_fm/pdfAmont/cf-araya_fm.pdf
- Barredo Cano, J. I., y Gómez Delgado, M. 2005. *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. https://www.researchgate.net/publication/31772457_Sistemas_de_informacion_geografica_y_evaluacion_multicriterio_en_la_ordenacion_del_territorio_segunda_edicion
- Barreras, F., Villegas, Á. J. R., Díaz, C., y Ribero, M. 2016. *Una comparación de diferentes modelos para la predicción del crimen en Bogotá*. Bogotá D.C., Colombia. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/8701/dcede2016-34.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Behm Chang, Virginia. 2018. *Análisis de puntos calientes optimizado, usando herramientas de ArcGIS PRO.*, Asociación Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/analisis-de-puntos-calientes-optimizado-usando-herramientas-de-arcgis-pro/>
- Bersani, C., Guerisoli, C., Mazzino, N., Sacile, R., y Sallak, M. 2015. *A multi-criteria methodology to evaluate the optimal location of a multifunctional railway portal on the railway network* [Una metodología multicriterio para evaluar la ubicación óptima de un portal ferroviario multifuncional en la red ferroviaria]. *Journal of Rail Transport Planning and Management* [Revista de planificación y gestión del transporte ferroviario]. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2015.06.003>
- Boonmee, C., Arimura, M., y Asada, T. 2017. *Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics* [Modelo de optimización de ubicación de instalaciones para logística humanitaria de emergencia]. *International Journal of Disaster Risk Reduction* [Revista Internacional de Reducción del Riesgo de Desastres], June 2016, 485–498. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.01.017>
- Bosque, J., Gómez, M., Moreno, A., y Dal Pozzo, F. 2012. *Hacia un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos*. *Estudios Geográficos*, 61(241), 567–598. <https://doi.org/10.3989/egeogr.2000.i241.542>
- Bosque, J., Moreno, A., Fuenzalida, M., Gómez, M., Mendel, C. de L., Ferrero, V. Olaya, Salado, M. 2012. *Sistemas de información geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos*. Madrid, España. Editorial Ra-Ma, Segunda Edición.
- Bustos, M. L. 1993. *Las Teorías de Localización Industrial, una breve aproximación*. *Estudios Regionales*. Salamanca, España. Universidad de Salamanca. <http://www.revistaestudiosregionales.com/documentos/articulos/pdf399.pdf>

- Church, R. L. 1999. *Location modelling and GIS [Modelado de localización y SIG]*. Geographical Information Systems [Sistemas de Información Geográfica], 293–303. https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/ch20.pdf
- Gascón, S. M., Jiménez, L. M., y Pérez, H. 2015. *Óptima ubicación de un relleno sanitario para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá empleando sistemas de información geográfica*. Ingenierías USBmed, 6(1), 38–45. <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/1722/1494>
- Getis, A., y Ord, J. K. 1995. *Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application [Estadísticas de autocorrelación espacial local: problemas de distribución y una aplicación]*. Geographical Analysis [Análisis geográfico], 27(4), 286–306. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>
- Hanss, M. 2005. *Applied Fuzzy Arithmetic: An Introduction with Engineering Applications [Aritmética difusa aplicada: Introducción a las aplicaciones de ingeniería]*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Jeong, J.S., García-Moruno, L., Hernández-Blanco, J. 2014. *Un modelo web para la asistencia en la toma de decisiones en la integración de las construcciones rurales mediante planificación espacial multi-criterio*. Informes de la Construcción, 66(533): e004, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.001>
- Malczewski, J. 2006. *GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature [Análisis de decisiones multicriterio basado en SIG: una revisión de la literatura]*. International Journal of Geographical Information Science [Revista internacional de ciencia de la información geográfica], 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Mejía, D., Ortega, D., y Ortiz, K. 2015. *Un análisis de la criminalidad urbana en Colombia, Bogotá D.C., Colombia*. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/810>
- Morcillo, C. G. 2015. *Lógica difusa, Una introducción práctica*. https://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf
- Ramírez, A., Barriga, A., Baturone, I., y Sanchez Solano, S. 2005. *Capítulo 3: Logica difusa Conceptos Fundamentales. Libro Electrónico sobre Lógica Difusa*. Madrid, España. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf
- Ramírez, L. 2011. *Sitios optimos destinados a la expansion de los equipamientos de atención primaria de la salud en el área metropolitana del Gran Resistencia Chaco*. Argentina. https://www.researchgate.net/publication/318723779_SITIOS_OPTIMOS_DESTINADOS_A_LA_EXPANSION_DE_LOS_EQUIPAMIENTOS_DE_ATENCION PRIMARIA_DE_LA_SALUD_EN_EL AREA_METROPOLITANA_DEL_GRAN_RESISTENCIA_CHACO_ARGENTINA
- Ramírez, L. 2015. *Modelos de Localización óptima para evaluar el grado de Justicia Territorial en equipamientos colectivos*. https://www.researchgate.net/publication/316919652_Modelos_de_localizacion_optima_para_evaluar_el_grado_de_justicia_territorial_en_equipamientos_colectivos
- Moreno Jiménez, A., y Bosque Sendra, J. 2010. *Los modelos de localización óptima como herramientas para la planificación territorial y urbana de instalaciones y equipamientos*. Ciudad y Territorio Estudios Territoriales (CyTET), 42(165-6), 461-480. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/76011>
- Rushton, G. 2014. *Spatial interaction based location allocation models location-allocation [Modelos de asignación de ubicación basados en interacción espacial ubicación-asignación]*, Editado de O'Kelly, Morton. 1987.

https://www.researchgate.net/publication/263367611_Spatial_interaction_based_location_allocation_models

- Saaty, T. L. 2008. *Decision making with the analytic hierarchy process* [Toma de decisiones con el proceso de jerarquía analítica]. *International Journal of Services Sciences [Revista Internacional de Servicios de las Ciencias]*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Tapia, M. M., y Troncoso, J. C. 2008. *Modelo de Localización Óptima de Actividades No Deseadas aplicado a los Residuos Sólidos en la Región Metropolitana, Chile.*, 16, 211–219.
- Westen, C. J. Van. 2011. *Herramientas para el análisis de mapas aplicadas a la selección de un sitio para la deposición de desechos*. Instituto Internacional de Ciencias de la Geoinformación y Observación de la Tierra. Enschede, Holanda http://www.birdlist.org/downloads/ilwis/caso_herramientas_para_analisis_de_mapas.pdf
- Zadeh, L. A. 1965. *fuzzy sets* [conjuntos difusos]. *Journal Information and Control [Revista de Información y Control]*, (1), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

SOBRE LOS AUTORES

Liliana Ruiz Orjuela: Ingeniera Catastral y Geodesta, Esp. Gerencia de Proyectos. (c) Magister en Geomática. Actualmente, se desempeña como profesional especializado en el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis y en el Centro Nacional de Memoria Histórica. Bogotá D.C, Colombia

Iván Lizarazo Salcedo: Ingeniero Civil. M.Sc. in Geographic Information Science. Ph.D. in Geographic Information Science. Actualmente, se desempeña como profesor de la maestría en Geomática en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C, Colombia

Camilo León Sanchez: Ingeniero Catastral y Geodesta M.Sc. In Geodesy and Geoinformation Science, Candidato a Ph.D. in 3D City Models for Energy Applications TUDelft. Delft, Países Bajos

La *Revista Internacional de Tecnología, Conocimiento y Sociedad* ofrece un espacio para el diálogo y la publicación de teorías y prácticas innovadoras que relacionan la tecnología, el conocimiento y la sociedad. Su ámbito de aplicación es interdisciplinar y proporciona un punto de encuentro entre tecnólogos preocupados por los asuntos sociales y sociólogos interesados en la tecnología.

Dirigida a las personas interesadas en la dinámica de las tecnologías sociales y su impacto social, la revista se guía por los ideales de una sociedad abierta en la que la tecnología se orienta a satisfacer las necesidades humanas y servir los intereses comunitarios. Examina la naturaleza de las nuevas tecnologías, sus conexiones con la comunidad, su uso como herramientas para el aprendizaje y su lugar en una "sociedad del conocimiento".

La perspectiva de los trabajos presentados comprende desde los grandes análisis que abordan preocupaciones globales y universales hasta los casos de estudio pormenorizados que se ocupan de las aplicaciones sociales de la tecnología a nivel local.

Los artículos abarcan un terreno amplio, algunas veces de orientación técnica y otras de orientación social; unas veces adoptan una perspectiva teórica y otras una aproximación práctica; a veces reflejan un análisis objetivo y desapasionado, y en otras ocasiones sugieren estrategias para la acción.

La revista resulta de interés para académicos pertenecientes a los campos de la informática, la historia y filosofía de la ciencia, la sociología del conocimiento, la sociología de la tecnología, la innovación, la educación y las humanidades. La participación está abierta a estudiantes, investigadores, desarrolladores de tecnologías, formadores, consultores tecnológicos, etc.

La *Revista Internacional de Tecnología, Conocimiento y Sociedad* es una revista académica sujeta a un proceso riguroso de revisión por pares.