

2. Análisis espacial de áreas con aptitud para la expansión urbana, mediante evaluación multicriterio

NOELIA CECILIA PRINCIPI*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.279.02>

Resumen

Este capítulo detalla el marco teórico-metodológico de las técnicas de Evaluación multicriterio (EMC), destacando su papel en la toma de decisiones mediante la evaluación de múltiples criterios y prioridades. Este proceso, que incluye la definición del problema, la búsqueda y evaluación de alternativas, y la selección de la opción óptima, es fundamental para la toma de decisiones espaciales complejas.

La EMC y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se combinan y permiten profundizar el análisis espacial cuantitativo en pos de optimizar la capacidad de acogida del territorio, evaluando factores y restricciones a nivel locacional. Este enfoque integrador es importante para la planificación territorial y la resolución de problemas socioespaciales complejos.

Se presenta, a modo de ejemplo, una aplicación en el partido de Luján (Buenos Aires, Argentina), donde se integran diversas variables espaciales y se genera un mapa de aptitud urbana con la identificación de las áreas óptimas para el desarrollo o la expansión urbana.

Palabras clave: *expansión urbana, evaluación Multicriterio (EMC), Sistemas de Información Geográfica (SIG), Planificación territorial*

* Doctora en Geografía. Docente-investigadora del Instituto de Investigaciones Geográficas de la Universidad Nacional de Luján. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8819-6743/> ; Scopus: 57204362582

Introducción

La expansión urbana plantea un gran desafío para los organismos de planificación y gestión territorial, especialmente en áreas periféricas donde el crecimiento puede generar desigualdades espaciales en el acceso a servicios urbanos esenciales o en terrenos con aptitudes para diversos usos, generando conflictos de ubicación.

En este contexto, es fundamental avanzar en estudios geográficos que, a través del análisis espacial, faciliten la toma de decisiones acerca de la localización de diferentes usos del suelo, identificando aquellas áreas que presenten las mayores aptitudes para la expansión urbana y, de esta forma, poder dirigir políticas de planificación hacia esos sectores.

La Agenda 2030 de las Naciones Unidas (ONU, 2016), establece diecisiete “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS), incluyendo el de lograr “ciudades y comunidades sostenibles”, donde se destaca la importancia de abordar el problema del crecimiento urbano descontrolado, especialmente en países en desarrollo, que enfrentan desafíos relacionados con infraestructuras y servicios insuficientes o sobrecargados.

En este sentido, el conocimiento del territorio es fundamental y resulta necesario que las decisiones que se toman en el marco de la planificación estén apoyadas por evaluaciones de carácter científico, derivadas de procesos de análisis espacial, tal como lo permiten las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) a partir de procesar y relacionar diferentes variables de índole espacial con apoyo en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El presente capítulo presenta el desarrollo teórico-metodológico y la aplicación de técnicas de EMC con el propósito de generar un mapa de aptitud urbana que permita determinar las zonas con mayores posibilidades de expansión o desarrollo del uso de suelo urbano en el partido de Luján (Buenos Aires, Argentina), considerando diversos criterios espaciales. Se trata de un ejemplo de aplicación de análisis espacial sencillo, pero no por esto menos efectivo en la búsqueda de soluciones a problemáticas socioespaciales complejas.

Teoría de la decisión y Evaluación Multicriterio

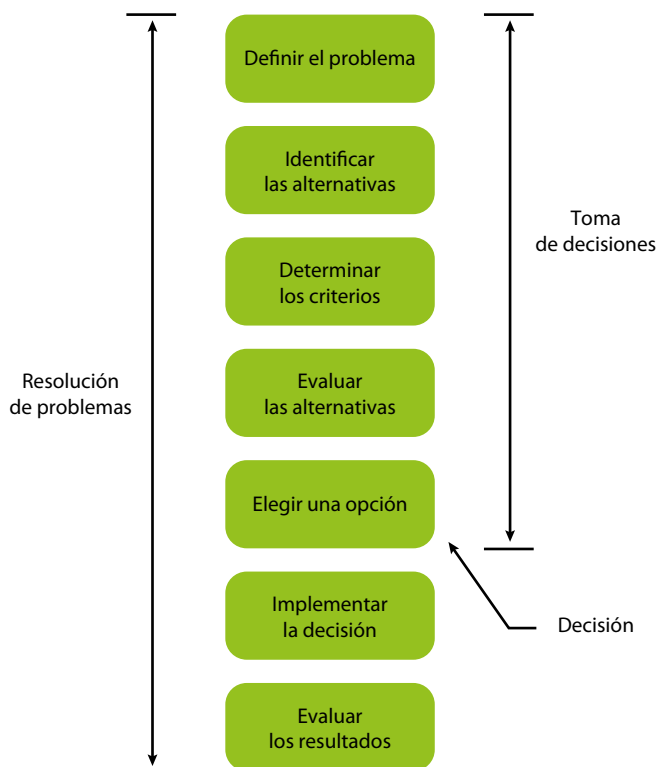
La Evaluación Multicriterio (EMC) engloba un conjunto de técnicas diseñadas para facilitar el proceso de toma de decisiones y se enmarca en la teoría de la decisión que encarga de analizar cómo se elige una acción que, dentro de un conjunto de acciones posibles, conduce al mejor resultado, según determinadas preferencias (Malczewski y Rinner, 2015)

La finalidad principal radica en asistir al responsable de tomar decisiones en la selección de la alternativa óptima entre un conjunto de opciones factibles, considerando la existencia de múltiples criterios y diversas prioridades asociadas a esos criterios.

Esto se da en un proceso de resolución de problemas que según Jankowski (1995), referenciando a McKenna (1980), consta de cuatro pasos fundamentales en un modelo racional de resolución de problemas: 1) *definición del problema*, que implica reconocer la discrepancia entre el estado actual y el estado deseado como una necesidad que requiere una decisión, 2) *búsqueda de alternativas y criterios de selección*, donde se establecen las alternativas factibles y los criterios para evaluarlas, 3) *evaluación de alternativas*, que consiste en evaluar los impactos de cada alternativa en cada criterio de evaluación y finalmente 4) *selección de alternativas*, que consiste en ordenar las alternativas de la más a la menos deseable y seleccionar la más óptima o las mejores opciones, para una evaluación adicional.

Toskano Hurtado (2005), por su parte, amplía los pasos del proceso de resolución de problemas a partir un modelo para optimizar la toma de decisiones que consta de siete pasos, de los cuales los cinco primeros corresponden específicamente a la toma de decisiones. Esto incluye, desde la identificación y definición del problema hasta que la elección de una alternativa de solución (figura 1). Lo propuesto por el autor, al ser expresado desde una perspectiva conductual —no matemática— permite su aplicación para describir prácticamente cualquier situación de toma de decisiones, incluyendo las decisiones espaciales.

Según el relevamiento realizado por Páez Gallego (2015) el inicio del estudio de la toma de decisiones surge en el siglo XVII, liderado principalmente por autores franceses. Estos pioneros se destacaron por desarrollar

Figura 1. *Proceso de toma de decisiones*

Fuente: Toskano Hurtado, 2005:14.

modelos matemáticos destinados a identificar regularidades en el comportamiento óptimo durante la toma de decisiones en juegos de azar. El primer trabajo documentado data de 1738 y es atribuido a Daniel Bernoulli (1700-1782). Con el tiempo, el estudio de la teoría de la decisión se expandió hacia otros campos en los que el comportamiento decisional humano desempeñaba un papel crucial.

Bernoulli introdujo un enfoque psicológico al reemplazar el concepto de *valor* por el de *utilidad*, definiendo esta última como la asignación de un valor subjetivo, único para cada individuo, a las distintas cantidades monetarias que se pueden ganar. Este cambio implicó la introducción del componente racional en la búsqueda de la máxima utilidad esperada en las decisiones.

A partir de este momento, la dicotomía que rige el estudio de la conducta decisoria se divide en dos modelos: los modelos normativos, que buscan explicar la mejor forma de decidir y que se han vinculado fundamentalmente al campo de la economía, y los modelos descriptivos, que intentan describir cómo las personas toman decisiones en la práctica y que se relacionan originalmente al campo de la lógica, la psicología y la sociología.

Por su parte, Malczewski y Rinner (2015), se remontan a los modelos de decisión del siglo XVIII, sobre sistemas de votación preferencial por rango, atribuidos a los franceses Jean-Charles de Borda (1733-1799) y Nicolás de Condorcet (1743-1794). Los autores manifiestan que recién en la segunda mitad del siglo XIX Francis Edgeworth (1845-1926) y Vilfredo Pareto (1848-1923) propusieron una metodología para integrar criterios contradictorios en un único índice de evaluación. Este último introdujo uno de los conceptos esenciales de la teoría de la decisión moderna: la eficiencia, también conocido como el óptimo de Pareto. El trabajo de Pareto ha sido crucial para el desarrollo de modelos de decisión en diversos campos del conocimiento, como la ciencia regional (Isard, 1969), la planificación urbana y regional (Chadwick, 1973) y la Geografía (Chorley y Haggett, 1967).

Según plantean Gómez Delgado y Barredo Cano (2006) en la década de los setenta, se estableció fuertemente el paradigma de la toma de decisiones multicriterio, marcando una revolución en el campo de la teoría de la decisión dentro del enfoque normativo. Este nuevo paradigma comenzó a abordar la resolución de problemas decisionales más complejos, donde los criterios y objetivos pueden ser múltiples, e incluso se pueden dar situaciones donde los objetivos pueden entrar conflictos entre sí.

En este trabajo, se abordará el enfoque normativo a partir de las aplicaciones en el entorno SIG que han permitido ampliar la toma de decisiones hacia el ámbito locacional, a través de la evolución hacia la toma de decisiones espaciales.

Evaluación Multicriterio y sistemas de información geográfica

Las decisiones acerca de cuál es la mejor zona para la asignación de determinado uso de suelo suele implicar la evaluación de diversos criterios que

responden a diferentes objetivos, que incluso a veces pueden ser conflictivos. A partir de los SIG existe la posibilidad de llevar a cabo un proceso de toma de decisiones locacionales, a través de herramientas específicas de análisis espacial que permiten respaldar este proceso.

En la implementación de estos modelos de decisión espaciales, los SIG desempeñan un papel crucial en la búsqueda de alternativas viables, particularmente la búsqueda de alternativas y criterios de selección, ya que tradicionalmente la búsqueda de ubicaciones, rutas y asignaciones de uso del suelo se realizaba mediante superposiciones manuales de mapas en el análisis de idoneidad y a partir de la llegada de los SIG y su capacidad para superponer mapas digitales, estos estudios se volvieron más sofisticados permitiendo incorporar una gran cantidad de variables, lo que permitió el abordaje de problemáticas espaciales más complejas (Jankowski, 1995).

Existen diversas metodologías de superposición cartográfica aplicables a datos espaciales que se representan mediante diferentes capas temáticas. Estas técnicas son fundamentalmente parte del ámbito conocido como “modelado cartográfico”, (Tomlin, 1990; DeMers, 2002). Un destacado progreso en el campo del modelado cartográfico lo constituyen justamente las técnicas EMC, detalladas extensamente por Gómez Delgado y Barredo Cano (2006) y Buzai y Baxendale (2011), las cuales amplían las posibilidades de trabajo hacia la obtención de resultados como escenarios de posibilidades a futuro, que están altamente vinculados a los procedimientos subjetivos, necesarios en el funcionamiento de metodologías objetivas.

A través de la EMC se evalúan diversas alternativas a través de múltiples criterios, considerando uno o varios objetivos. Cuando se abordan objetivos de decisión múltiples, se utiliza el término Evaluación Multiobjetivo (EMO), un ejemplo se encuentra en Buzai y Principi (2017), donde a través de la aplicación del modelo de resolución estandarizada *Land-use Conflict Identification Strategy* (LUCIS), desarrollado por Carr y Zwick (2006, 2007) se consideraron tres objetivos posibles vinculados a diferentes usos de suelo (urbano, agrícola y conservación) y a través del modelo se identificaron áreas de potencial conflicto entre los usos de suelo considerados. Por otro lado, si la EMC persigue un único objetivo, nos encontramos ante un análisis multicriterio-uniojetivo (figura 2), tal como se abordará en este capítulo. Otros ejemplos pueden encontrarse en Principi (2021 y 2017) donde

se aplica el análisis de EMC con objetivos únicos, vinculados a la expansión urbana y el desarrollo agropecuario, en la ciudad de Luján y en la cuenca hidrográfica del río Luján, respectivamente.

Para alcanzar los objetivos establecidos, se pueden aplicar diversas técnicas, como análisis *booleanos*, media ponderada ordenada o combinación lineal ponderada, entre otras¹.

En el presente trabajo, la aplicación de técnicas de EMC mediante SIG tiene como objetivo realizar una evaluación de la aptitud o capacidad de acogida del territorio, en relación con funciones o actividades específicas definidas en el proceso de evaluación, que en este caso se vincula al uso de suelo urbano.

Según Gómez Orea (2008) la capacidad de acogida del territorio se define como la relación entre el entorno físico y las actividades humanas, podría considerarse como el “grado de idoneidad” para su uso, teniendo en cuenta tanto su fragilidad como su potencialidad. Esta noción implica la convergencia entre aquellos que evalúan la relación desde la perspectiva del entorno, principalmente en términos de impacto, y aquellos que la perciben desde la actividad o uso, principalmente en términos de aptitud o potencial del territorio, centrando la búsqueda de las condiciones más favorables.

El análisis de EMC se inicia con información básica compuesta por variables cartográficas (capas) que actúan como criterios para llevar a cabo los procedimientos de evaluación. La correcta elaboración de estos criterios es esencial ya que, como señalan Eastman *et al.* (1993) un criterio es la base para la toma de una decisión y debe ser medible y evaluado, ya que es la evidencia sobre la cual se basa tal decisión.

En este contexto, existen dos tipos de criterios: los factores, que presentan valores continuos o discretos de aptitud locacional en cada variable, y los limitantes, también conocidos como restricciones, que operan con la finalidad de asignar resultados en un sector delimitado del área de estudio con un propósito restrictivo. Mientras que los factores resaltan la posibilidad de ciertas alternativas, los limitantes restringen la disponibilidad de opciones en función de lo que se está evaluando.

¹ El detalle de las diversas técnicas mencionadas se puede encontrar en el capítulo 7 de: Buzai, G. y Baxendale, C. 2011. *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Tomo 1. Lugar Editorial. Buenos Aires.

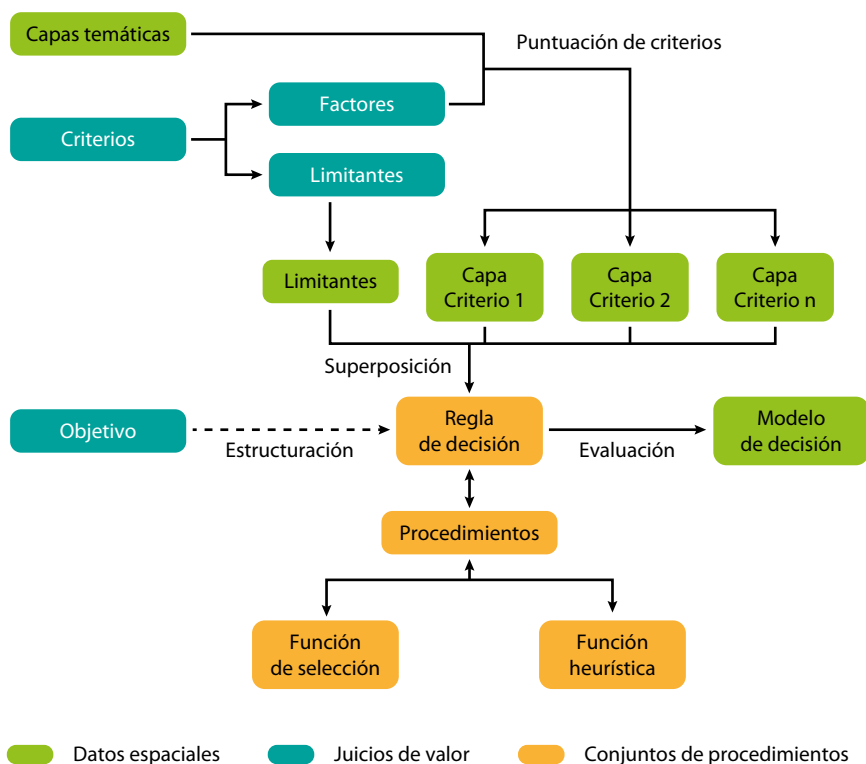
Las formas de vinculación de los criterios se denominan “reglas de decisión”, y su proceso de aplicación se conoce como evaluación. Como existen diversas formas para determinar estructuras espaciales, la flexibilidad en el manejo de la información es un aspecto fundamental en esta instancia, ya que los resultados pueden variar en función de la importancia que se les asigne a los criterios involucrados.

Por esto, la regla de decisión debe permitir la integración coherente de los diferentes criterios implicados en la evaluación. Una vez que la regla de decisión está estructurada, el siguiente paso, denominado evaluación, es lo que finalmente generará el modelo de decisión con los resultados finales de la EMC. Se pueden realizar varias evaluaciones variando alguno de los aspectos considerados, con el fin de comparar resultados.

Además, es importante considerar que la regla de decisión puede contemplar la realización de dos tipos de procedimientos: la función de selección, que implica procedimientos matemáticos para comparar alternativas y seleccionar aquella que mejor cumpla los objetivos propuestos, generalmente a través de un proceso de optimización y comparación de todas las posibles soluciones, y la selección heurística, más comúnmente utilizada debido a su simplicidad, ya que no se utiliza una función matemática sino que se especifica el procedimiento a seguir en la evaluación y selección de la mejor alternativa (Eastman *et al.*, 1993).

Gómez Delgado y Barredo Cano (2006) justamente presentan un ejemplo de aplicación de estos procedimientos para el caso de evaluación de la capacidad para el asentamiento urbano, similar al que se presentará en este trabajo. En este sentido, a través de la función de selección sería posible definir las áreas susceptibles de ser o no urbanizadas, formando, por ejemplo, grupos jerárquicos de capacidad de urbanización, a partir de procedimientos de clasificación o, por otro lado, aplicar una función heurística para seleccionar las mejores áreas para el asentamiento urbano, con procedimientos de selección, tal como se llevará adelante en la evaluación propuesta.

Los modelos de decisión Multicriterio/Multiobjetivo han consolidado un cuerpo teórico y metodológico maduro que ya ha sido considerado por varios autores en la toma de decisiones espaciales en el campo de la Geografía Aplicada. Este enfoque ha encontrado aplicaciones significativas en la planificación territorial, especialmente a través de la integración de técnicas de EMC con SIG,

Figura 2. Sistema de integración entre SIG y EMC

Fuente: Gómez Delgado, M.; Barredo Cano, J. I. (2006:48).

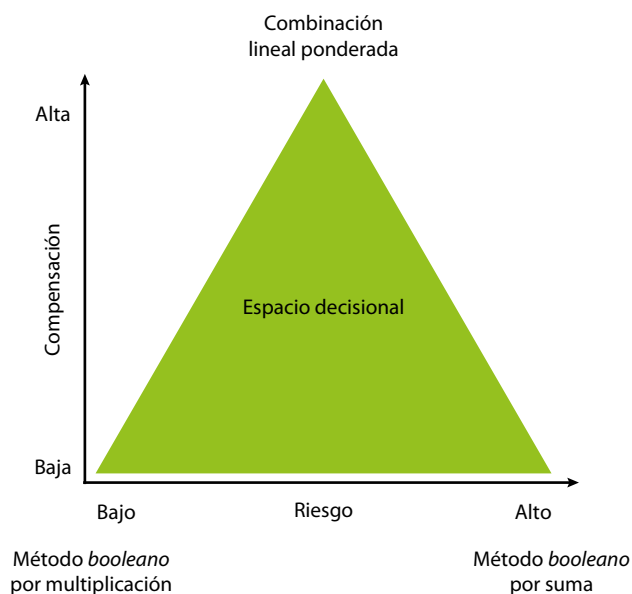
ofreciendo modelos operativos para abordar el proceso de ordenamiento territorial y las propuestas de solución a problemas socioespaciales complejos.

Buzai y Baxendale (2011) explican que las decisiones locacionales se encuentran dentro de un triángulo de decisiones estratégicas (figura 3), delineado por dos ejes ortogonales: el eje x representa el nivel de riesgo, y el eje y representa el nivel de compensación a través de los valores de ponderación de los factores considerados. Existen diversas técnicas para mover la decisión locacional dentro de este triángulo. Las soluciones posibles se presentan mediante métodos *booleanos*, como la multiplicación para un análisis de riesgo mínimo sin compensación, la suma para un escalonamiento hacia el riesgo máximo sin compensación, y la combinación lineal

ponderada para un análisis de riesgo medio con máxima compensación. Por lo tanto, el progreso metodológico en la toma de decisiones de localización espacial dependerá de la flexibilidad para determinar diversas posiciones dentro de ese espacio estratégico.

El objetivo último, que consiste en identificar los mejores lugares de ubicación, se puede alcanzar, entonces, principalmente mediante procedimientos *booleanos* o de combinación lineal ponderada (*WLC-Weighted Linear Combination*). El primero superpone mapas de aptitudes discretas para obtener resultados claramente definidos y con aptitudes fijas, mientras que el segundo incorpora elementos de incertidumbre en situaciones empíricas más realistas.

Figura 3. Triángulo de decisiones estratégicas



Fuente: Buzai y Principi (2017) en base a Buzai y Baxendale (2011).

Proceso de análisis jerárquico

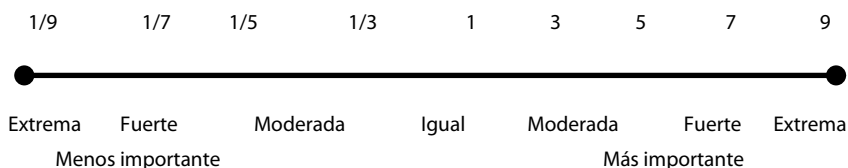
Como se adelantó, un paso importante en el proceso de EMC implica la asignación de valores o pesos a los distintos criterios, con el fin de expresar

su importancia en términos cuantitativos. Este procedimiento puede generar controversias debido a la forma en que se asignan dichos pesos. Por tanto, resulta fundamental emplear un método de ponderación que respalde la determinación de los pesos de manera objetiva. Uno de los métodos más ampliamente utilizado y reconocido en el ámbito de las decisiones multicriterio es el Proceso de Análisis Jerárquico (*Analytical Hierarchy Process-AHP*), propuesto por el matemático Thomas Saaty, en 1980.

El método AHP posibilita la modelización del problema de toma de decisiones mediante una estructura jerárquica, utilizando comparaciones entre pares de criterios para incorporar las preferencias del investigador o el tomador de decisiones. Esto se realiza mediante una escala de razón considerada válida para decisiones complejas (Saaty, 1987).

Los criterios se organizan en una matriz cuadrada cuyo tamaño está determinado por el número de criterios a ponderar. Así, se crea una matriz de comparación por pares de criterios, donde se evalúa la importancia de cada uno en relación con los demás, a través de juicios de valor. Estos juicios pueden fundamentarse teóricamente, ser prácticos o derivar de consultas a expertos, según el objetivo de la toma de decisiones. Se utiliza una escala de medida para asignar pesos a los criterios según su importancia, la cual se detalla en la figura 4.

Figura 4. Escala de medida para la asignación de los juicios de valor en los criterios



Fuente: Gómez Delgado y Barredo Cano, 2005: 73.

La matriz es recíproca, es decir, los valores asignados a ambos lados de la diagonal son inversos. Una vez establecidos los valores en la matriz de comparación por pares, se realiza el cálculo del vector de prioridad (w_j), que representa el orden de prioridad de los criterios. El procedimiento consiste

en obtener los valores de la matriz normalizados por columnas, a partir del cociente entre cada valor de celda y el valor de la sumatoria de cada columna. Luego, estos valores se suman por filas para obtener el vector de prioridad de cada criterio.

Estos valores también se normalizan, dividiendo cada uno de los valores del vector entre el número de criterios. De aquí se obtienen los diferentes pesos (w_{j_nor}) que van a proporcionar una medida cuantitativa de consistencia de los juicios de valor entre pares de factores.

El método AHP proporciona una medida operativa de la consistencia en la asignación de pesos a través del vector de prioridad máximo (λ_{MAX}), que se obtiene multiplicando el vector de prioridad normalizado por la matriz de comparación por pares y se utiliza para evaluar la consistencia al analizar la proporcionalidad de las preferencias implícitas en los juicios de valor asignados. Para calcularlo, se realiza una suma lineal ponderada de los pesos de cada alternativa, según su peso normalizado (w_{j_nor}). Posteriormente, los resultados se dividen por sus respectivos pesos (w_{j_nor}). El promedio de los valores obtenidos corresponde al $\lambda_{máx}$ del criterio analizado.

Este análisis se complementa con el cálculo de la Razón de Consistencia (RC). La RC se obtiene dividiendo el valor del índice de consistencia (IC) por el índice aleatorio medio (IAM). El IC se determina mediante la siguiente fórmula, donde n es el número de criterios en la matriz de comparación:

$$IC = (\lambda_{máx} - n) / (n - 1)$$

Para el Índice Aleatorio Medio (IAM) de matrices recíprocas cuadradas, se utilizan los siguientes valores (tabla 1), presentados por Saaty (1987):

Tabla 1. Valores de IAM para matrices cuadradas de orden n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IAM	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,4	1,45	1,49

Fuente: Saaty (1987).

Cuando RC inferior a 0,10 se considera que los juicios de valor están dentro de los límites recomendados, son consistentes y se debe continuar con el proceso. Si el valor es mayor o igual a 0,10 los juicios deben ser revisados, ya que no serían lo suficientemente consistentes para establecer los pesos (Gómez Delgado y Barredo Cano, 2006).

A diferencia de otros métodos, como la lógica fuzzy o los modelos de regresión espacial, el método AHP ofrece una ventaja significativa en la interpretación de resultados, al proporcionar un marco claro y transparente para la asignación de pesos, mientras que la lógica fuzzy puede ser útil en contextos de mayor incertidumbre, ya que su aplicación requiere definiciones precisas de funciones de membresía para representar el grado de pertenencia de un valor a un conjunto difuso, lo que puede introducir subjetividad adicional (Malczewski, 2002). Por otro lado, los modelos de regresión espacial pueden identificar relaciones entre variables, pero no permiten una integración flexible de criterios cualitativos y cuantitativos, como lo hace AHP (Anselin, 1999).

Desafíos y limitaciones de la en la planificación territorial

El crecimiento urbano del siglo XXI no puede desvincularse de los desafíos ambientales globales. La expansión de las ciudades debe contemplar no sólo la disponibilidad de suelo, sino también su impacto en la contaminación, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Estos tres factores conforman lo que se denomina, desde la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, como la triple crisis climática, un fenómeno que representa una de las mayores preocupaciones a nivel mundial y que ha sido reconocido como una amenaza crítica para la sostenibilidad de los sistemas urbanos y ecológicos (UNFCCC, 1992).

En este sentido, incorporar variables climáticas en la EMC permitiría evaluar la sostenibilidad de las áreas propuestas para urbanización. Uno de los aspectos fundamentales es la disponibilidad de recursos hídricos, debido a que las ciudades en expansión requieren garantizar el acceso al agua potable y al saneamiento, lo que implica considerar la capacidad de las fuentes de abastecimiento y la eficiencia en la gestión de estos recursos. Asimismo,

la presencia de espacios verdes es esencial para mitigar el efecto de isla de calor urbano y proporcionar servicios ecosistémicos clave para la calidad de vida de la población (Wong y Yu, 2005).

Si bien la EMC ha demostrado ser una herramienta eficaz para la planificación territorial, su aplicación enfrenta ciertos desafíos y limitaciones que deben ser considerados para una implementación efectiva. Uno de los principales retos es la subjetividad inherente a la asignación de pesos en los criterios de evaluación. Aunque el método AHP y otros métodos similares, proporcionan un marco sistemático para minimizar esta subjetividad, la ponderación de criterios sigue dependiendo de la percepción de los tomadores de decisiones y expertos consultados.

Otro desafío importante es la disponibilidad y calidad de los datos espaciales. La precisión de los resultados de EMC depende en gran medida de la resolución y actualidad de la información utilizada. En contextos urbanos en rápida transformación, la falta de datos actualizados puede afectar la validez de los análisis. Además, la integración de criterios ambientales, sociales y económicos requiere bases de datos geográficas homogéneas, que no siempre están disponibles en los niveles de desagregación espacial necesarios.

Aplicación de la para expansión urbana en el partido Luján

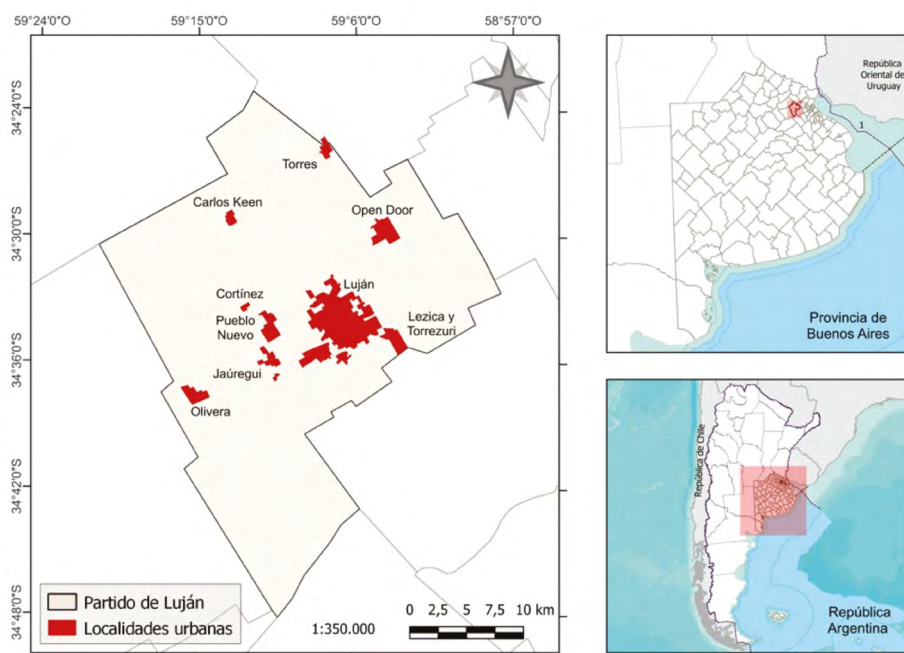
El área de estudio donde se realizará la aplicación de la EMC es el partido de Luján (figura 5), uno de los 135 partidos que conforman la provincia de Buenos Aires, en la República Argentina. Éste se encuentra ubicado en el último anillo de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA). La localidad cabecera del partido, Luján se encuentra a 68 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), pero si se considera su mancha urbana, es decir, la ciudad desde un punto de vista físico como aglomeración, se encuentra separada a sólo 2 km del extremo del corredor Oeste del Gran Buenos Aires (Humacata, 2017). En un trabajo realizado por Buzai y Montes Galbán (2020) se mostraron evidencias que indican que Luján ya forma parte de la Megaciudad Buenos Aires, a partir de considerar la infraestructura gris, teniendo en cuenta conjuntamente el espacio adaptado y el sistema de flujos.

El partido de Luján ocupa una superficie total de 777 km² y comparte límites, al norte con el partido de Exaltación de la Cruz, al este y noreste con Pilar, y al este y sudeste con General Rodríguez. Se encuentra dentro de la denominada llanura pampeana, drenando al occidente la subregión de la pampa ondulada y al oriente la subregión del Delta, con un relieve que es marcadamente llano, con una suave pendiente que disminuye de oeste a este, rondando los 60 msnm.

Según los datos del último Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado el 2022, la población total es de 111 365 habitantes (INDEC, 2023).

El partido está compuesto por varias localidades: Jáuregui, Pueblo Nuevo, Cortines, Carlos Keen, Open Door, Torres y Olivera. Históricamente, la ciudad cabecera ha concentrado alrededor del 75% de la población urbana total del partido.

Figura 5. Área de estudio: partido de Luján (Buenos Aires, Argentina)



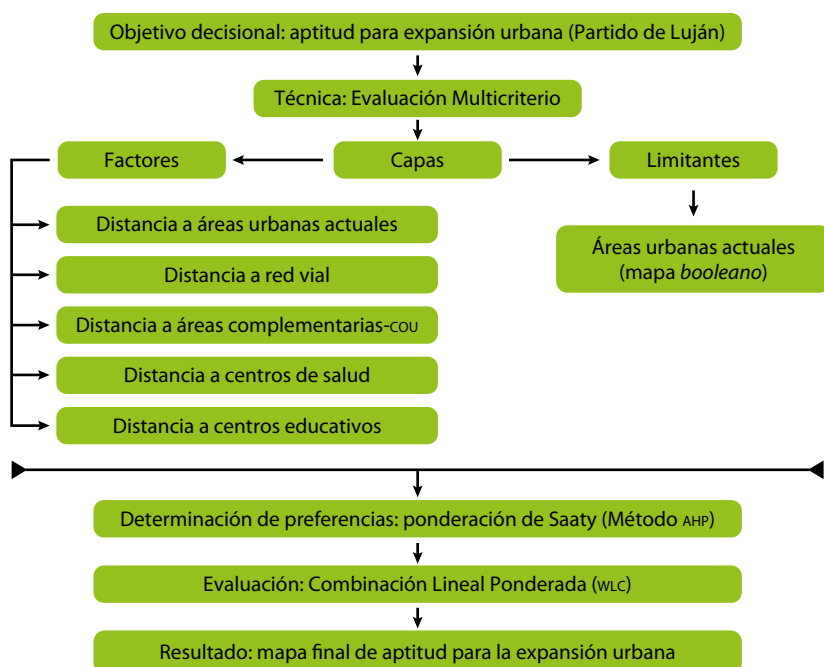
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la República Argentina.

Hacia el mapa de aptitud urbana

Las definiciones preliminares implicaron evaluar diversas capas temáticas con información relevante para su inclusión en el análisis de la aptitud urbana en el partido de Luján. Todas las variables en formato vectorial fueron convertidas al formato raster para aplicar la EMC en el *software Terrset*. En este proceso, la intervención del investigador-decisor es crucial al determinar qué variables se incluyen, qué peso se le otorga a cada una, considerando su importancia para el objetivo de expansión o desarrollo urbano. Se trata de una aplicación exploratoria y a modo de ejemplo, a partir de datos disponibles que podrían ampliarse para mejorar el análisis.

A continuación, se presenta el esquema metodológico utilizado (figura 6) y se explicitan los pasos y decisiones llevadas a cabo para el análisis de EMC.

Figura 6. Diagrama de solución



Fuente: Elaboración propia.

Definición del objetivo

En este caso se trata de una EMC con un único objetivo decisional, que es determinar las áreas que presentarían mayor aptitud para la expansión o el desarrollo del uso de suelo urbano en el partido de Luján.

Base de datos geográfica

Se hizo la recopilación de información a partir de antecedentes y trabajos en el área de estudio, relacionados con la temática propuesta. Se seleccionaron, actualizaron y realizaron bases cartográficas a partir de diferentes fuentes de información oficiales. Las capas en formato vectorial se convirtieron a raster, cada una de estas se considera un tema diferente a nivel cartográfico: áreas urbanas, red vial, centros educativos, centros de salud, radios censales y zonificación del Código de Ordenamiento Urbano (COU) del Partido de Luján (tabla 2).

Tabla 2. Capas temáticas de la base de datos cartográfica

<i>Capa temática</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
Áreas urbanas actuales	Áreas urbanas del partido de Luján 2020. La digitalización se realizó a partir de la interpretación visual de imágenes satelitales de Sentinel 2, color natural, con fecha 4/3/20, con un pixel de 20 metros de lado.	Satélite Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés)
Centros de salud	Capa de puntos con los centros de salud del Partido de Luján. Se consideran hospitales, centros periféricos y centros de atención primaria de la salud.	Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina - IGN
Centros educativos	Capa de puntos con los centros educativos del Partido de Luján. Se contemplan centros públicos y privados, desde nivel inicial hasta universitario.	Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina - IGN
Código de Ordenamiento Urbano (COU) del Partido de Luján.	Capa temática con la zonificación vigente del Partido de Luján donde se contemplan áreas complementarias para el desarrollo o expansión urbana.	Municipio de Luján
Radios Censales	Capa temática con los radios censales del Partido de Luján del Censo 2010, con datos de población. Utilizada para el cálculo de densidad poblacional. Los radios son la unidad mínima de representación de los datos censales, están definido por un espacio territorial con límites geográficos y una determinada cantidad de unidades de viviendas a relevar en cada Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. En promedio, un radio censal incluye 300 viviendas, aunque hay que considerar que para bordes de las localidades el radio puede descender a 200 viviendas.	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina - INDEC

<i>Capa temática</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
Red vial	Capa temática compuesta por las rutas nacionales, rutas provinciales y complementada con los principales accesos viales.	IGN–Complementación propia con vinculación de QGIS y Google Satélite.

Fuente: elaboración propia.

Análisis de aptitud

Aquí se explicita la regla de decisión de acuerdo al objetivo planteado y se aplica la metodología, a través de la superposición de las capas temáticas.

Se generan factores con valores en el rango de 0 a 255 mediante una estandarización difusa, con la herramienta fuzzy del *software* utilizado, lo que permite crear mapas de aptitud continua para cada criterio, variando entre los extremos de apto y no apto.

En esta fase, es importante la asignación de valores cuantitativos a las categorías correspondientes a cada criterio, ya que esta valorización incide directamente en el resultado de la evaluación. Posteriormente, mediante un procedimiento sencillo de modelado cartográfico, se obtiene el mapa de aptitud.

Es fundamental destacar que todos los mapas se multiplican por el mapa *booleano* de áreas urbanas actuales como restricción, asignando un valor de 0 a las áreas actualmente urbanizadas y 1 al resto. Esto se realiza para excluir del análisis las áreas ya consolidadas como urbanas que, debido a sus características físicas, podrían ser aptas para otros usos. Los factores y la restricción considerados para la obtención del mapa de aptitud urbana se derivan de los mapas de las variables seleccionadas y se detallan a continuación.

Distancia a áreas urbanas actuales: la aptitud para la expansión urbana disminuye al aumentar la distancia de las áreas urbanas actuales. Se establecen parámetros para que los 2 000 metros sean considerados como el umbral de máxima aptitud, disminuyendo gradualmente los valores a medida que se alejan del valor óptimo. Al adoptar este criterio, se tiene en cuenta la importancia de la compacidad de la ciudad como eje de la sostenibilidad urbana, favoreciendo la ampliación de servicios básicos a menor costo, debido a la proximidad. Para obtener este primer factor, se genera un mapa inicial de distancias euclidianas, el cual sirve como base para la creación del mapa de estandarización difusa, con valores en el rango de 0 a 255, aplicando la función sigmoïdal con decrecimiento monótono.

Distancia a red vial: la aptitud para la expansión urbana aumenta a menor distancia de las vías de comunicación principales. Este criterio favorecerá las áreas cercanas a la red vial como más adecuadas para el desarrollo urbano, estableciendo los 1 500 metros como la distancia óptima. Este criterio es fundamentalmente significativo en la localidad cabecera del Partido de Luján, por encontrarse conectada por una autopista directa a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), lo que favorece la conectividad con toda el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) y, por ende, se considera beneficioso localizarse cerca de estas arterias de conexión regional. Se genera un mapa de distancias, para luego aplicar un cálculo de estandarización difusa lineal decreciente.

Distancia a centros educativos: a partir de este criterio se considera que la aptitud para la expansión urbana es mayor cuando la distancia a los centros educativos es menor, considerando la importancia del acceso a servicios urbanos básicos. Por esto, se aplicó una función lineal con decrecimiento monótono, considerando el umbral de 1 500 metros.

Distancia a centros de salud: a partir de este criterio, se considera que la aptitud para la expansión urbana es mayor cuando la distancia a los centros de salud es menor, considerando la importancia del acceso a servicios urbanos básicos. Por esto, se aplicó una función lineal con decrecimiento monótono, considerando el umbral de 1 500 metros.

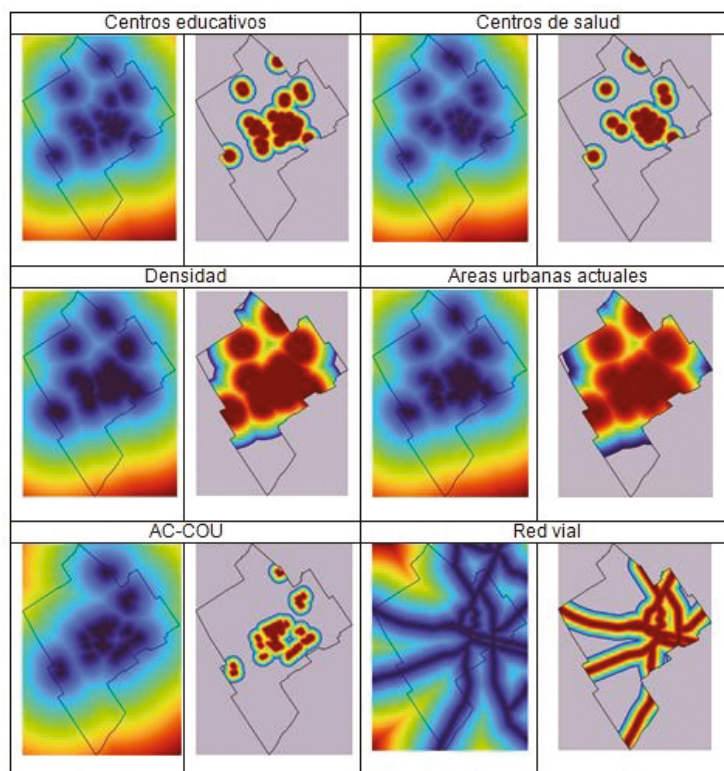
Densidad de población: este criterio considera que cuanto mayor es la densidad de población existe mayor probabilidad de crecimiento urbano en zonas contiguas a estas áreas. Para el cálculo de la densidad se utilizó la capa temática de radios censales, con el valor de densidad poblacional (considerando cantidad de habitantes y superficie). Luego se calcularon los centroides de cada radio censal para realizar un mapa de calor aplicando la densidad de Kernel para entidades de puntos calculando su densidad alrededor de cada celda, con un radio de 500 metros, ponderado por densidad poblacional. Finalmente, se aplicó una función lineal con decrecimiento monótono, considerando 1 000 metros de distancia.

Distancia a Áreas Complementarias (AC) del Código de Ordenamiento Urbano (COU): la aptitud para la expansión urbana es óptima cuando está dentro de las AC, consideradas en el COU vigente del partido de Luján (2019) con el código AC-RE1 (Áreas Complementarias Residenciales Extraurbanas 1)

que incluye las áreas destinadas a la localización de segunda residencia, prepara las condiciones para una futura expansión del área urbana y también se admite localización de urbanizaciones especiales y AC-RE2 (Áreas Complementarias Residenciales Extraurbanas 2), como áreas de posible expansión urbano-residencial, donde se contempla una primera subdivisión en quintas y grandes parcelas cuya geometría admite fraccionamientos posteriores y también se permite desarrollo de urbanizaciones especiales. La aptitud disminuye a mayor distancia de las AC, se aplicó una función lineal con decrecimiento monótono considerando 1 000 metros de distancia.

A continuación, se presenta la figura 7 con los factores considerados y procedimientos aplicados: *a)* cálculos de distancia en primera instancia y *b)* estandarización difusa con valores de 0 a 255.

Figura 7. Factores considerados – mapas de distancias y mapas difusos



Fuente: elaboración propia.

Área urbana actual: no se consideran en el análisis de aptitud las áreas que ya son urbanas, ya que por las características de esta cobertura, no se contempla su cambio de uso. En este caso se construye un mapa *booleano*, a modo de restricción, (figura 8) con 0 para las áreas urbanas (color negro) y 1 para el resto (color blanco).

Figura 8. Restricción considerada – mapa booleano



Fuente: elaboración propia.

Cada uno de los criterios utilizados en la EMC tiene un impacto directo en la planificación territorial y en la configuración futura del espacio urbano; por ejemplo, la proximidad a la infraestructura vial no sólo facilita la conectividad, sino que también influye en la demanda de servicios y en el

desarrollo de nuevos centros urbanos. La densidad poblacional, por su parte, es un indicador clave para prever la presión sobre los recursos y la necesidad de equipamiento urbano.

Además, los criterios normativos, como las Áreas Complementarias definidas en COU, juegan un papel fundamental en la regulación del crecimiento. Estas zonas pueden servir como espacios de transición entre lo urbano y lo rural, minimizando los conflictos de uso de suelo y favoreciendo una expansión planificada.

Es importante destacar que los criterios de aptitud urbana no deben considerarse de forma aislada, sino en su interrelación con otros factores socioeconómicos y ambientales. En este sentido, la integración de la EMC con SIG permite generar escenarios más precisos, donde se pueden evaluar distintas configuraciones espaciales y sus implicancias en la calidad de vida de la población.

Determinación de preferencias-ponderación de los factores

El paso siguiente corresponde a la definición de preferencias y pesos, a través del método AHP, disponible en el módulo *weightt* de Terrset. A partir de los juicios de valor de los criterios se realiza la matriz recíproca (tabla 3), considerando la escala de medida presentada en la figura 4.

Tabla 3. Matriz recíproca con factores considerados

	Área urbana	Densidad	Red vial	AC- COU	Centros educativos	Centros de Salud
Área urbana	1					
Densidad	5-Jan	1				
Red vial	3-Jan	3	1			
AC-COU	1	3	3	1		
Centros educativos	9-Jan	7-Jan	5-Jan	9-Jan	1	
Centros de salud	9-Jan	7-Jan	5-Jan	9-Jan	1	1

Fuente: Elaboración propia en el módulo *weightt* de Terrset.

Luego se obtiene el vector de prioridad (w_j), que representa el orden de prioridad de los criterios (tabla 4).

Tabla 4. Vectores de prioridad de los factores considerados

<i>Factor</i>	<i>Vector de prioridad (w)</i>
Área urbana	0.3521
Densidad	0.1165
Red vial	0.1596
AC-COU	0.3154
Centros educativos	0.0282
Centros de salud	0.0282

Fuente: resultado de aplicación del método AHP en módulo *weighth* de Terrset.

Finalmente, se realiza el cálculo de la RC, considerando los datos del IAM de matrices recíprocas cuadradas (tabla 1). Se obtiene un RC de 0.06. Es decir, inferior a 0.10 lo que indica que el resultado es consistente, por lo tanto, las ponderaciones de cada criterio quedan establecidas y se puede avanzar en el proceso de EMC.

Aplicación de la regla de decisión

El siguiente paso dentro de la EMC para la evaluación de la aptitud urbana consiste en aplicar una regla de decisión, que en este caso se trata de una técnica compensatoria aditiva, que es la sumatoria lineal ponderada.

La combinación lineal ponderada (WLC) es un procedimiento o técnica para la EMC, donde los criterios continuos estandarizados se combinan por medio de una suma ponderada. Es de los métodos más empleados por su sencillez y por ser fácil de implementar. Se calcula sumando el resultado de la multiplicación del valor de cada criterio por su peso, según la siguiente fórmula:

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}$$

donde:

r_i = la variable ponderada definida como objetivo.

w_j = el peso del criterio o factor j .

v_{ij} = el valor ponderado de la alternativa i en el criterio o factor j .

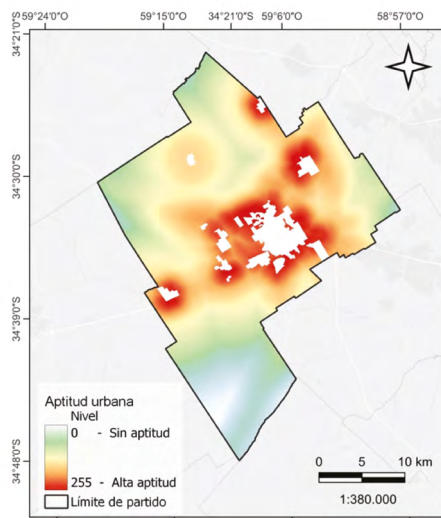
Se trata de una técnica que lleva la solución al extremo superior del triángulo de decisiones (figura 3) estratégicas donde el nivel de riesgo es medio y existe una máxima compensación entre los factores. En el *software* utilizado, la aplicación del WLC está disponible como una de las opciones en el módulo MCE (MultiCriteria-Evaluation). Utilizando los mapas difusos de cada uno de los factores y sus correspondientes pesos se realiza el procedimiento sencillo de modelado cartográfico:

$$WLC = (\text{Área urbana} \times 0.3521) + (\text{Densidad} \times 0.1165) + (\text{Red vial} \times 0.1596) + (\text{AC-COU} \times 0.3154) + (\text{Centros educativos} \times 0.0282) + (\text{Centros de salud} \times 0.0282).$$

Obtención del resultado

El resultado de la evaluación arroja el mapa de aptitud continua para expansión urbana en el partido de Luján, a partir de los 6 factores considerados y excluyendo del análisis las áreas que ya están consolidadas como urbanas en el área, como se observa en el mapa siguiente (figura 9).

Figura 9. Mapa de aptitud para la expansión urbana en el partido de Luján



Fuente: elaboración propia en QGIS 3.22.6.

Se obtienen los valores de superficie para las categorías de aptitud baja, media y alta, según el rango difuso considerado (tabla 5).

Tabla 5. *Categorías de aptitud por superficie*

	<i>Superficie (km²)</i>
Aptitud baja (0-85)	162
Aptitud media (85-170)	372.3
Aptitud alta (170-255)	191

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Si bien el presente capítulo se centró en los aspectos teórico-metodológicos de la EMC, con una aplicación sencilla a modo de ejemplo, es innegable que la cuestión climática debe ser considerada en cualquier análisis territorial como una estrategia clave para garantizar ciudades más habitables, equitativas y preparadas para los retos del futuro. La magnitud y complejidad de los efectos del cambio climático hacen necesario su abordaje en los procesos de planificación urbana, ya que su impacto trasciende la dimensión ambiental e incide directamente en el desarrollo socioeconómico y la resiliencia de las ciudades frente a eventos extremos.

En el caso del Partido de Luján, para la planificación urbana se debe evaluar la compatibilidad de la expansión con la protección de áreas de valor ambiental, como los humedales del área. Incorporar estos factores en la EMC permitirá identificar zonas donde el desarrollo urbano pueda realizarse con menor impacto ambiental, asegurando un crecimiento más equilibrado y resiliente frente a los desafíos climáticos actuales. La sostenibilidad de los nuevos desarrollos urbanos dependerá en gran medida de la capacidad para integrar estos criterios dentro de los procesos de toma de decisiones espaciales.

El resultado obtenido revela la distribución espacial de las áreas propicias para el crecimiento o la expansión urbana en el partido de Luján, en tonos rojos. Las áreas con aptitud alta representan una superficie de 191 km². Se evidencia que las zonas con mayor aptitud, se encuentran adyacen-

tes o cercanas a las áreas urbanas existentes, indicando su conexión con la expansión de las áreas ya consolidadas. Este resultado está en concordancia con la regla de decisión aplicada, que priorizó la proximidad a las áreas urbanas actuales con mayor ponderación en la aplicación del método AHP.

Contiguas a la ciudad de Luján, se destacan vastas extensiones con alta aptitud para el uso urbano, asociadas a la expansión horizontal significativa del área. Esta expansión se puede relacionar con la potencial unión de la ciudad a la mancha urbana del Gran Buenos Aires. Por otro lado, 372 km² del partido presentan aptitud media, áreas destinadas principalmente a usos rurales mixtos de la tierra, como la agricultura extensiva, la ganadería y la frutihorticultura intensiva, pero con condiciones físicas óptimas para el desarrollo urbano.

En contraste, las zonas con baja aptitud para el uso urbano, que representan 162 km², están vinculadas principalmente a la combinación de áreas exclusivamente rurales y que se encuentran alejadas de las áreas urbanas existentes, como también de las principales vías de comunicación de la zona, lo que dificultaría la integración a los ejidos urbanos actuales.

Dado que se trata de una llanura, el uso del suelo urbano no enfrenta obstáculos significativos para su desarrollo, lo que implica que un gran porcentaje de la superficie pueda considerarse potencialmente apta para la expansión urbana.

Sin embargo, en esta aplicación exploratoria sólo se han considerado seis factores y sólo un limitante para excluir del análisis las áreas urbanas actuales, por considerarse que es un uso consolidado sin posibilidad de reversibilidad o cambio. En este sentido, es importante incorporar mayor cantidad de criterios —factores y limitantes— para mejorar la evaluación a futuro. Por ejemplo, poder incorporar limitantes vinculados a cursos de agua, áreas ribereñas y humedales existentes en el área permitiría obtener escenarios más restrictivos para la expansión urbana considerando las áreas que presentan aptitud para la conservación de la biodiversidad.

Además, este análisis espacial preliminar es el puntapié inicial para avanzar hacia la evaluación de otros objetivos vinculados a las actividades agropecuarias o las áreas propicias para la conservación, lo que permitiría analizar objetivos contradictorios a partir de la competencia espacial y la identificación de escenarios de potencial conflicto entre diferentes usos del

suelo en el partido de Luján que permitirían dar cuenta de la dinámica urbano-regional de esta área, donde se destacan las actividades vinculadas a la producción agrícola extensiva y la producción frutihortícola intensiva en áreas periurbanas, áreas ribereñas y de humedales, que el crecimiento urbano de los últimos años ha estado presionando fuertemente, afectando particularmente las zonas de interfase urbana-rural en el área con suelos más productivos del país, que actualmente se han convertido en objeto de especulación inmobiliaria para la expansión urbana de tipo dispersa, con emprendimientos privados. A partir del modelado espacial basado en técnicas de EMC multobjetivo con SIG se podría avanzar en esta línea que complejizaría el análisis.

Conclusiones

La importancia de realizar una aplicación de análisis espacial basada en la EMC, como la presentada en este capítulo, radica en su capacidad para analizar el espacio geográfico y respaldar los procesos de ordenamiento territorial. En este caso, conocer las áreas más propicias para la expansión o desarrollo urbano es importante para la toma de decisiones en el ámbito de la planificación urbana, especialmente en ciudades de tamaño intermedio que han experimentado un notable dinamismo en los últimos años.

En este sentido, técnicas tan sencillas como el modelado cartográfico basado en EMC permiten obtener resultados concretos que sirven de sustento para la toma de decisiones espaciales.

La selección y análisis de variables en formato cartográfico posibilitaron la definición de diversos criterios espaciales para la aplicación de la EMC apoyada por SIG. El objetivo principal fue determinar niveles de aptitud para la expansión urbana en el partido de Luján. En el contexto del partido de Luján, donde la expansión urbana debe considerar múltiples factores interrelacionados (infraestructura, accesibilidad, densidad poblacional y normativas de uso del suelo), el método AHP demostró ser apropiado para la ponderación de los criterios, respaldado por una validación estadística aceptable.

Esto permitió avanzar en la suma lineal ponderada de los criterios para cumplir con el objetivo locacional establecido.

El resultado cartográfico final no sólo proporciona la capacidad de identificar áreas con diversas aptitudes para la expansión urbana, sino que también facilitaría la realización de otros procedimientos dentro del ámbito del modelado cartográfico. Esto puede lograrse mediante la comparación y superposición con mapas que consideren aptitudes para otros usos, lo que permitiría identificar áreas que podrían enfrentar conflictos futuros entre distintos usos de suelo.

Es importante destacar que las técnicas de EMC han emergido como una de las líneas de aplicación más interesantes de la tecnología SIG, sirviendo como herramienta de apoyo en los procesos de ordenamiento territorial, especialmente durante la fase de planificación territorial; esto se debe a su capacidad para realizar diagnósticos y propuestas de intervención concretas con base científica.

En este sentido, este ejemplo simple de aplicación busca valorizar estas aplicaciones del análisis espacial con SIG, al demostrar su utilidad y versatilidad para administrar datos geográficos, combinar variables sociales y físicas, permitiendo el abordaje de problemáticas socioespaciales complejas que requieren de un análisis multidimensional al que se puede llegar por medio de estudios sencillos, evidenciando que el enfoque aplicado de la geografía es fundamental para generar conocimientos relevantes y útiles para la sociedad.

Referencias

- Anselin, L. (1999). The Future of Spatial Analysis in the Social Sciences. *Geographic Information Sciences*, 5 (2), 67-76.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. (2011) *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1*. Lugar Editorial.
- Buzai, G. D. y Montes Galbán, E. (2020). Megaciudad Buenos Aires: cartografía de su última expansión y conurbación mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales nocturnas. *Revista Cartográfica*, (100) 215–238. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i100.667>
- Buzai, G. D. y Principi, N. (2017). Identificación de áreas de potencial conflicto entre usos del suelo en la cuenca del río Luján (Argentina). *Revista Geográfica de América Central*, 3(59), 91-124. <https://doi.org/10.15359/rgac.3-59.4>
- Chadwick, G. (1973). *Una visión sistémica del planeamiento*. Gustavo Gili.

- Chorley, R. y Haggett, P. (1967). *Models in geography*. Methuen.
- Da Silva, C. y Cardozo, O. (2015). Evaluación multicriterio (EMC) y sistemas de información geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia, (Argentina). *Geofocus* (16), 23–40. <https://geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/445>.
- DeMers, M. (2002). *GIS Modeling in Raster*. John Wiley.
- Eastman, J. R.; Kyem, P. A.; Toledano, J y Jin, W. (1993). *GIS and Decision Making*. United Nations Institute for Training and Research.
- Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J. I. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Ra-Ma.
- Gómez Orea, D. (2008). *Ordenación Territorial*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Humacata, L. (2017). *Análisis espacial de los cambios de usos del suelo en partidos de interfase urbano-rural de la Región Metropolitana de Buenos Aires, en el periodo 2000-2010, mediante la aplicación de Tecnologías de la Información Geográfica*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17046.65601>
- Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9 (3), 251-273. <https://doi.org/10.1080/02693799508902036>
- INDEC (2023). *Censo nacional de población, hogares y viviendas 2022: resultados provisionales. 1a. ed.* Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina.
- Isard, W. (1969). *General Theory: Social, Political, Economic, and Regional, with Particular Reference to Decision-making Analysis*. MIT Press.
- Naciones Unidas–Habitat (2016). *Urbanization and Development: Emerging Issues. World Cities Report 2016*. Naciones Unidas.
- Malczewski, J. (2002). Fuzzy Screening for Land Suitability. *Analysis Geographical & Environmental Modelling*, 6 (1), 27-39.
- Malczewski, J. y Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Sciences*. Springer.
- McKenna, C. K, (1980). *Quantitative methods for public decision making*. McGraw-Hill.
- Morales Ramírez, L. y Pineda Jaimes, N. (2023). “Determinación de áreas de potencial conflicto entre usos del suelo en el Municipio de Villa Guerrero, Estado de México”, en *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 15 (25), 1-22. <https://revistageo-sig.wixsite.com/geosig/geosig-25-2023>
- Moreno Jiménez, A; Buzai G. D. y Fuenzalida Díaz, M. (2012). *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. Ra-Ma.
- Naciones Unidas. (2016). *Objetivos del desarrollo sostenible 17 objetivos para transformar el mundo*. Naciones Unidas. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities>
- Páez Gallego, J. (2015). Teorías normativas y descriptivas de la toma de decisiones: un modelo integrador. *Opción*, 31 (2), 854-865.

- Principi, N. (2021). Evaluación multicriterio aplicada a la expansión urbana en Luján (Buenos Aires, Argentina). *Anuario de la División Geografía*, 15, 1-14. <https://adgun-lu.wixsite.com/anuario-geografia/anuario-15-2021>
- Principi, N. (2017). Avances para la obtención del mapa de aptitud agrícola en la cuenca del río Luján con evaluación Multicriterio. *Red Sociales*, 4 (5), 157-167.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Proces*. Mc Graw Hill Press.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process: what it is and how it is used, in *Mathematical Modelling* 9 (3-5), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Tomlin, C. D. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs-Prentice Hall.
- Toskano Hurtado, G. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores*. [Tesis de Licenciatura en Investigación de Operaciones, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú]. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano_hg/contenido.htm
- UNFCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas, Río de Janeiro.
- Wong, N. y Yu, C. (2005). Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International*, 29, 547-558.