Expansión urbana y potenciales conflictos entre usos del suelo. Cuenca del río Luján (Buenos Aires, Argentina) hacia el 2030

Gustavo D. Buzai[*]
Luis Humacata[**]

Resumen

En las últimas décadas, el crecimiento acelerado de las áreas urbanas está produciendo conflictos por la competencia espacial entre usos del suelo en espacios que forman parte de la franja urbano-rural de las áreas metropolitanas, generando un impacto negativo en las coberturas naturales y usos del suelo sobre los cuales se expande. El trabajo propone un modelo espacial prospectivo que predice la configuración urbana hacia el año 2030 en la cuenca del río Luján y sus potenciales conflictos con usos del suelo agrícola y de conservación. Se definieron cuáles son las áreas de mayor aptitud para el crecimiento urbano futuro de manera tal que se minimicen los impactos en las actividades de producción primaria y las coberturas naturales y semi-naturales. Los resultados presentan la capacidad de la Geografía Aplicada en la generación de conocimientos científicos en el diagnóstico y propuestas con la finalidad de intervenir en la formulación de estrategias para el ordenamiento territorial sostenible.

Palabras clave: Análisis espacial, Modelado espacial, Método LUCIS, Conflictos entre usos del suelo, Cuenca del río Luján.

Urban Expansion and Potential Land-Use Conflicts. The Luján River Basin (Buenos Aires, Argentina) toward 2030

Abstract

In recent decades, the accelerated growth of urban areas has generated conflicts arising from spatial competition among land uses in zones that form part of the urban-rural fringe of metropolitan areas, producing negative impacts on natural land cover and existing land uses over which expansion occurs. This paper proposes a prospective spatial model that predicts the urban configuration toward the

° https://doi.org/10.52292/j.rug.2025.34.2.0088
* Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). gdbuzai@conicet.gov.ar
** Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO) – Grupo de Estudios de la Cuenca del río Luján (GECLU). lhumacata@mail.unlu.edu.ar

year 2030 in the Luján River basin and its potential conflicts with agricultural and conservation land uses. Areas with the greatest suitability for future urban growth were identified in order to minimize impacts on primary production activities and on natural and semi-natural land covers. The results highlight the capacity of Applied Geography to generate scientific knowledge for diagnosis and policy-oriented proposals, with the aim of informing the formulation of strategies for sustainable territorial planning.

Keywords: Spatial Analysis, Spatial modeling, LUCIS Method, Conflicts between land uses, Luján river basin.

Introducción

La expansión continua de las áreas urbanas es una problemática de escala mundial (Mitchell, 2001), que se ve agravada en las ciudades de América Latina en donde aproximadamente el 81% de la población vive en ciudades (ONU-Hábitat, 2020) y se estima que para el 2030 un 60,4 % de la población mundial vivirá en ámbitos urbanos. Se prevé que el 90% de la expansión urbana se producirá en los países en desarrollo, siendo Argentina, uno de los países latinoamericanos que se destaca por su acelerado proceso de urbanización a través de la expansión de ciudades de tamaño intermedio (Vapñarsky y Gorojovsky, 1990) y actualmente de las grandes ciudades (Buzai, 2025). Según INDEC (2023) la Argentina tiene un 92,6% de población urbana.

En este contexto, la Geografía se presenta como una disciplina de gran potencial para el estudio de los patrones de distribución espacio-temporal del crecimiento urbano, a través de su postura cuantitativa orientada hacia la búsqueda de regularidades del comportamiento espacial. Este accionar permite realizar modelizaciones con la finalidad de explicar y predecir patrones espaciales donde la incorporación de la dimensión temporal lleva a captar sus evoluciones como aspecto fundamental en las prácticas del ordenamiento territorial (Buzai y Baxendale, 2013). En este sentido, fueron realizados claros avances orientados a la construcción metodológica de aspectos prospectivos para analizar el crecimiento urbano y conflictos entre usos del suelo.

Siguiendo estas líneas aplicativas, es posible incorporar dos enfoques, el de un análisis histórico y el de una simulación prospectiva. En el primer caso, se busca conocer la evolución pasada de las configuraciones espaciales actuales mediante la metodología del modelado cartográfico por superposición temática (Tomlin, 1990) y en el segundo, la detección de cambios de usos del suelo con posibilidades prospectivas (Pontius, Shusas y McEachern, 2004). Las sistematizaciones realizadas por Gómez Delgado y Rodríguez Espinosa (2012) y Pineda Jaimes y Principi (2019) presentan el amplio contenido de la temática. En el presente trabajo pondremos atención en el avance prospectivo, cuya aplicación se encuentra en diversos trabajos que arriban a claros resultados en la temática de la expansión urbana (Martínez Vega, Echavarría Daspet y González Cascón, 2008; Plata Rocha, Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2009; Ramírez y Pértile, 2013; Lara, 2014; Linares, 2015; Humacata, 2017; Buzai, 2018; Cardozo, Vera y Godoy, 2021) y de los potenciales conflictos entre usos del suelo (Morello, Buzai y Baxendale, 2000; Buzai y Baxendale, 2011a; Dzendoletas, 2011; Principi, 2019; Buzai y Principi, 2017; Buzai, 2007 y 2018).

Los enfoques mencionados se vinculan, ya que el diagnóstico territorial de la situación pasada y presente, nos permite avanzar hacia la generación de escenarios a futuro, considerando a la geografía como una ciencia que tenga posibilidades de precedir. Las propuestas orientadas a la modelización espacial prospectiva, tuvo un gran desarrollo en los últimos años, a partir de su integración con los Sistemas

de Información Geográfica (SIG) (Buzai y Baxendale, 2011b). En este sentido, surgen propuestas basadas en modelos cuantitativos, entre los que se incluyen principalmente las cadenas de Markov, autómatas celulares, redes neuronales y modelado basado en agentes, que pueden aplicarse individualmente o a partir de combinaciones que corresponden a un enfoque basado en modelos híbridos (Paegelow, Camacho Olmedo y Menor Toribio, 2003; Buzai, 2007).

Avanzaremos en el estudio de la dinámica de crecimiento de las áreas urbanas en la cuenca del río Luján y los potenciales conflictos entre usos del suelo hacia el año 2030, considerando que este proceso es responsable de la mayor competencia espacial entre usos del suelo en el área de interface periurbana (Allen, 2000) que Carter (1983) conceptualizó como *franja urbano-rural*, donde el avance urbano tiende a ocupar superficies originalmente destinadas a otros usos o coberturas naturales, en localizaciones que presentan altas aptitudes para diferentes actividades productivas y otras para la conservación ambiental. En este sentido, resulta de suma utilidad la aplicación de metodologías orientadas hacia la determinación de potenciales conflictos entre usos del suelo ante la tendencia de la expansión urbana futura.

En la búsqueda de los objetivos señalados, una de las metodologías de gran capacidad es la denominada *Land Use Conflict Identification Strategy* (LUCIS) propuesta por Carr y Zwick (2007), basada en técnicas de evaluación multicriterio, a partir del modelado cartográfico apoyado en el uso de SIG. Ésta corresponde a un modelo de resolución estandarizada para la identificación empírica de áreas que presentan potenciales conflictos entre usos del suelo (Buzai y Baxendale, 2010). La propuesta metodológica fue utilizada con idoneidad en diversas áreas de estudio, entre los que se destacan aplicaciones al municipio de Luján (Buzai y Baxendale, 2011a), San Carlos de Bariloche (Dzondeletas, 2011), cuenca del río Luján (Principi, 2019; Buzai y Principi, 2017), ciudad de Luján (Buzai, 2018) y al Estado de Guerrero, México (Morales Ramírez y Pineda Jaimes, 2023).

En síntesis, la metodología LUCIS contempla la idoneidad de los usos del suelo para el desarrollo de determinadas actividades sobre el espacio geográfico. De esta manera, a partir del modelado cartográfico en SIG, se identifican las localizaciones que presentan niveles de aptitud para el desarrollo de usos del suelo urbano, agrícola y de conservación. Los resultados cartográficos y cuantitativos presentan una gran capacidad como herramienta de planificación para la generación de propuestas de áreas según niveles de aptitud, tanto para el desarrollo de actividades residenciales, producción primaria y conservación ambiental. En nuestro caso, el objetivo se dirige a evaluar los posibles conflictos entre usos del suelo a partir de la expansión urbana futura en la cuenca del río Luján, determinando cuáles serían los sitios con mayor aptitud para la expansión urbana, de tal manera que se minimicen sus impactos negativos.

El área de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Luján, ubicada al noreste de la provincia de Buenos Aires. El río Luján es el curso principal con un recorrido de 157 km desde su naciente hasta su desembocadura en el río de la Plata. La cuenca tiene una superficie de 3.762 km^2 (Lanzelotti y Buzai, 2015), y se posiciona como la de mayor superficie en la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), ocupando el 14 % del total de la región.

Según el Instituto Nacional del Agua (INA, 2007), el área de estudio se divide en tres sectores (INA, 2007): cuenca alta, cuenca media y cuenca baja, abarcando de forma parcial dieciséis municipios (Buzai y Lanzelotti, 2019) que cuentan en conjunto con una población total 3.109.833 habitantes (INDEC, 2023). Presenta una gran diversidad de coberturas y usos del suelo, bajo un esquema de organización espacial que configura un gradiente urbano-rural, en dirección este-oeste, desde los municipios que forman parte del segundo anillo de la RMBA. La densidad de población disminuye a medida que aumenta la distancia del área urbana, la cual tiene la mayor concentración de población y actividades, de esta forma, los municipios de la cuenca media presentan la mayor heterogeneidad de usos del suelo, llegando a la cuenca alta donde predomina la actividad agropecuaria que ocupa la mayor superficie.

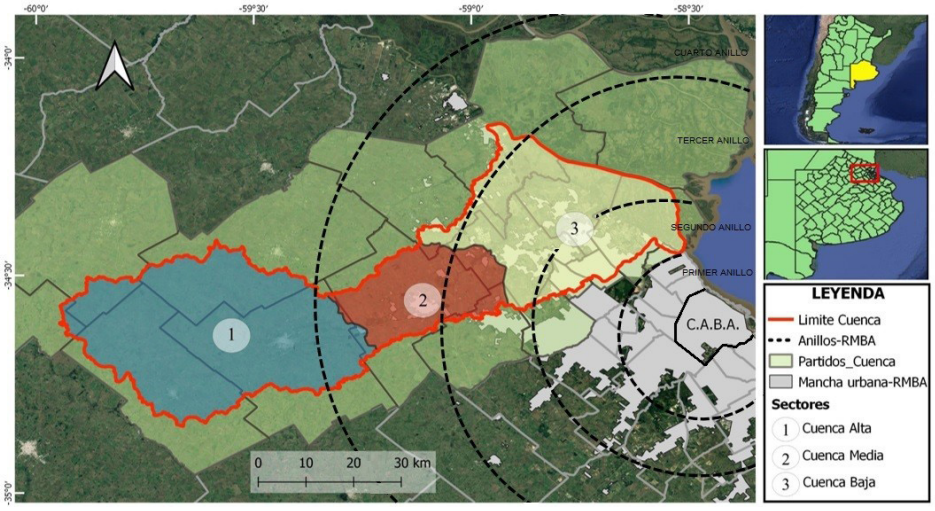


Figura 1. Cuenca del río Luján. Fuente: elaboración propia.

Materiales y métodos

La tarea técnica inicia con la elaboración de una base de datos geográfica del área de estudio, realizada a partir del uso de SIG. Seguidamente se elaboró cartografía temática de coberturas correspondientes a las áreas urbanas de 1990, 2000 y 2010, y mapas de la distribución espacial de aptitud para la localización urbana, agrícola y de

conservación. Estos resultados constituyen el insumo para el cálculo de la expansión urbana futura hacia 2030 mediante la aplicación de cadenas de Markov con autómatas celulares (Humacata, 2022) y su incidencia conflictiva en la distribución espacial de los usos del suelo agrícola y de conservación (Humacata, 2025).

A continuación, se presentan aspectos metodológicos del resultado de la modelización espacial del crecimiento urbano y de la detección de áreas potencialmente conflictivas ante la evolución espacio-temporal de los usos del suelo.

Metodología prospectiva

— *Modelado con cadenas de Markov*

El modelo central utilizado en la obtención de resultados prospectivos para la expansión urbana y su validación corresponde a la utilización metodológica de las cadenas de Markov a partir de la distribución espacial del aglomerado urbano en un momento anterior *t-1*. La aplicación considera que la probabilidad de que ocurra un evento se encuentra relacionado a las características de un evento en un estado anterior, aspecto desarrollado claramente por Urban y Wallin (2002) al focalizarse en diferentes usos del suelo en configuraciones paisajísticas.

La metodología de análisis espacial exige contar con dos mediciones temporales: *t-1* (pasado) y *t* (presente) para generar una matriz de probabilidades de transición (*P*). Con esta se calcula un tercer estado, *t+1* (futuro).

La matriz P es fundamental en el proceso de transición, las probabilidades de cambio de una categoría a otra fueron medidas a lo largo de un período y son de utilidad para extrapolar el cálculo hacia un período similar futuro.

Si el estado del sistema puede ser definido como

$$x_t = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$$

donde x_i representa las proporciones de cada categoría para el tiempo t, el estado del sistema para un tiempo t+1 se logra multiplicando el vector por la matriz de probabilidades de cambio,

$$x_{t+1} = x_t P$$

y de esta forma continuaría hacia los momentos *t-2*, *t-3*… *t-n*

$$x_{t+2} = x_{t+1} P = x_1 P^2$$
$$x_{t+3} = x_{t+2} P = x_{t+1} P^2 = x_3 P^3$$

Por lo que el estado del sistema queda definido por

$$x_{t+k} = x_t P^k$$

Los cálculos previos dan cuenta de la situación probabilística del cambio temporal, pero no espacial, por lo tanto, con posterioridad se utiliza la imagen de probabilidad de transición y el procedimiento de autómata celular para ubicar espacialmente las celdas que tienen mayores probabilidades para ser cambiados de categoría.

— *Modelado con autómatas celulares*

La aplicación de autómatas celulares al ámbito urbano presenta claras posibilidades de aplicación (Xie y Sun, 2007) en el contexto de un modelo determinístico en donde cada estado en el momento *t+1* estará referido a su estado anterior *t*.

El cálculo se realiza en un área de vecindad denominada kernel, tomando cada localización como centralidad ante el paso de una ventana móvil que en su tamaño mínimo es de 3x3 y el resultado se asigna a la misma localización en una nueva capa temática. Con analogía al tablero de ajedrez se dispone de contigüidades en movimiento de torre o modelo de von Neumann y de reina o modelo de Moore (Aguilera Ontiveros, 2002).

Que una localización cambie de estado, será el resultado de un proceso de decisión, que en una versión estándar lo considera a partir de la mayoría de sus estados de las localizaciones que forman el kernel. La Figura 2 presenta el caso de resolución para una misma configuración en base a los dos modelos. Puede verse que mientras para el primero se produce el cambio en el estado en la localización central (0 a 1), en el segundo lo mantiene con su valor inicial (0).

$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} x & x & x \\ x & 1 & x \\ x & x & x \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} x & x & x \\ x & 0 & x \\ x & x & x \end{matrix}$
Modelo de von Neumann	Modelo de Moore

Tabla I. Resoluciones de estados en modelos de autómata celular. Fuente: elaboración propia

Si la localización central corresponde a determinado uso del suelo, este cambiará o no hacia otro por la ocurrencia espacial encontrada en las localizaciones vecinas. Toda localización asumirá un estado específico y podrá cambiar a otros estados mediante las reglas de transición basadas en esta probabilidad. Mediante una combinación lineal ponderada se establece la realización de un mapa síntesis de direccionamiento que represente la probabilidad espacial para el cambio.

$$I_i = \sum_{a=1}^{A} Pa_{(i)} w_a$$

Donde, I_i es el valor de idoneidad en la celda (i), *a* es un mapa de direccionamiento específico, A es la totalidad de mapas de direccionamiento, w_a es el valor de ponderación del mapa de direccionamiento *a* y *Pa(i)* es el porcentaje establecido en la categoría *ak* del mapa de atributos *a*, donde la celda *(i)* es un miembro de la categoría *ak*. El mapa de direccionamiento contiene los valores de probabilidad al cambio. La elección de las localizaciones que cambiarán desde cualquier uso del suelo al uso urbano será realizada de la siguiente manera:

Primero, el modelo establece que el área urbana tendrá permanencia y no experimentará cambios durante el período. No es posible disminuir el uso del suelo urbano. Segundo, es posible restringir el crecimiento a una matriz, que actúa como ventana móvil de diverso tamaño. Hemos utilizado una matriz de 3x3 (*ventana móvil*) con lo cual el crecimiento se produce principalmente en las zonas contiguas a las áreas urbanas consolidadas, aunque estas serán compactas y dispersas. Y finalmente, se elegirán las celdas ubicadas en las localizaciones de mayor idoneidad para el crecimiento dentro de la matriz siempre y cuando exista una categoría urbana mayoritaria en su interior hasta llegar al número de celdas establecido.

Como modelo de aplicación híbrida, la cadena de Markov proporcionará el valor de la magnitud del cambio y la aplicación de autómatas celulares permite encontrar la distribución espacial. Contar con una situación real permite validar el modelo al comparar la distribución espacial conocida con la distribución espacial estimada. Se lo hace con mediciones anteriores para tener un grado de confiabilidad futura, para ello se utiliza el índice Kappa considerado en valores absolutos. El porcentaje de coincidencia total fue calculado como la sumatoria de la diagonal de la matriz dividido la cantidad de localizaciones del área de estudio:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^{r} x_{ii}}{n} \times 100$$

donde *PC* es el porcentaje de correspondencia, x_{ii} son los valores absolutos contenidos en la diagonal de la matriz del cruce tabular, *r* es la cantidad de filas y *n* la cantidad de localizaciones del área de estudio.

A partir de los datos de la matriz puede ser calculado el índice Kappa como medida de la coincidencia espacial de clases y obtenido para todas las categorías en conjunto como:

$$k_i = \frac{P_{ii} - P_{i+}P_{+i}}{P_{i+} - P_{i+}P_{+1}}$$

donde P_{ii} es la proporción de coincidencias entre la fila *i*, y la columna $_i$, P_{i+} es la proporción de unidades de cambio esperado en la fila *i* y P_{+i} es la proporción de unidades de cambio esperado en la columna *i*.

— *Metodología de análisis de conflictos entre usos del suelo*

A partir de considerar los trabajos de Buzai y Baxendale (2010 y 2011b) y de University of Florida (2014), en los que se realiza un análisis y sistematización del método LUCIS, se listan los pasos procedimentales para la aplicación del modelo de resolución:

1. *Definición de objetivos*: se consideran tres tipos de ocupación del suelo, vinculados al uso urbano, agrícola y de conservación, Se evalúa la potencialidad de cada localización según las aptitudes para el desarrollo de alguno de estos usos.

2. *Creación de la base de datos espacial*: se procede a la creación de las capas temáticas que serán consideradas para el logro de cada uno de los objetivos. Se genera una base de datos geográfica tendiente a la representación espacial de diversos temas de interés con la finalidad de definir los niveles de aptitud urbana, agrícola y de conservación. La misma se realiza en el entorno de los SIG, donde además se precisan aspectos técnicos vinculados a la elaboración de cartografía temática (base gráfica y alfanumérica, proyección, resolución espacial, etc.).

3. *Análisis de aptitud*: se determina el nivel de aptitud de cada categoría de las capas temáticas definidas para cada uno de los objetivos. En este punto, se crean los factores para la posterior aplicación del análisis de evaluación multicriterio. En este sentido, los procedimientos técnicos corresponden a cálculos de distancia, estandarización de aptitud continua y reclasificación.

4. *Determinación de preferencias*: la importancia relativa de cada factor en la definición del mapa de aptitud para cada objetivo, se realiza a partir del método de *ponderación por ranking recíproco* propuesto por Malczewki (1999). Se basa en la consideración de expertos en cada temática para el establecimiento de los parámetros de importancia. Se aplica a partir de la siguiente fórmula:

$$w_j = \frac{1/r_j}{\sum(\frac{1}{r_j})}$$

Donde w_j es el valor de ponderación otorgado a cada factor y r_j el número de orden en el ranking de acuerdo a los valores de importancia. Las propiedades de este método indican que los valores van de 0 a 1, y cuya sumatoria es de 1.

5. *Aplicación de la regla de decisión y reclasificación de resultados*: se avanza en la aplicación de los procedimientos de evaluación multicriterio basados en la combinación lineal ponderada, siendo posible la integración de capas de restricciones a partir de procedimientos matemáticos de multiplicación de capas booleanas. El resultado consiste en un valor resumen para cada mapa de aptitud, es decir, que cada localización asume un valor de aptitud (*I*) de acuerdo a:

$$I_i = \sum f_i \, p_i$$

Donde I_i es el valor índice para cada unidad espacial *i*, $\sum$ es la sumatoria de los resultados totales de las capas temáticas, *f* es cada factor, *p* son los valores de ponderación de cada factor.

Los resultados finales consisten en la obtención de tres mapas de aptitud, uno para cada uno de los objetivos definidos. Se avanza a partir de la reclasificación de los valores de aptitud continua a una categorización basada en tres niveles de aptitud: alta, media y baja, de la siguiente forma: $1 \leq ac \leq 3$

6. *Determinación de la expansión urbana sobre áreas de aptitud*: se procede a la superposición cartográfica de cada uno de los mapas de aptitud con la capa de expansión urbana futura (Figura 3). Como resultado, se obtienen tres mapas con localizaciones que presentan correspondencia entre la expansión y los niveles de aptitud.

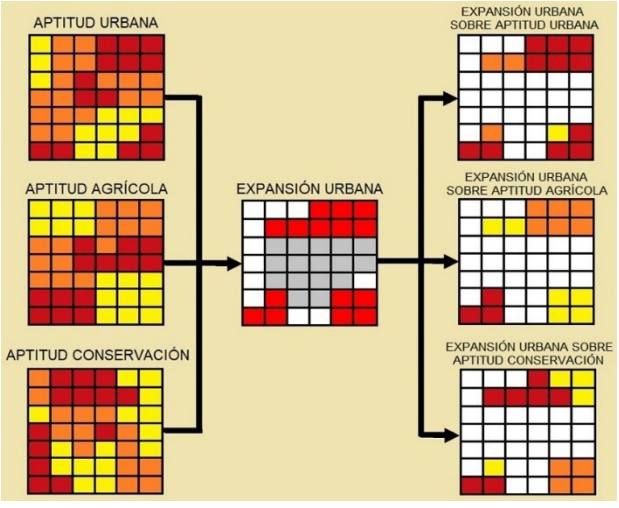


Figura 2. Modelado cartográfico de la expansión urbana sobre áreas de aptitud.
Fuente: elaboración propia.

7. *Identificación de áreas potenciales de conflictos a partir de la expansión urbana*. Con la finalidad de determinar las posibles combinaciones de zonas con y sin conflictos entre usos del suelo se debe realizar la multiplicación de los mapas de aptitud. En este sentido, el mapa de aptitud urbana se reclasifica en centenas, el mapa de aptitud agrícola en decenas y el mapa de aptitud para la conservación mantuvo sus valores originales en unidades. El método continúa mediante la combinación de las tres capas raster para obtener las posibles combinaciones presentados en la Tabla 1.

Conflictos mayores	
111	Urbano-bajo con Agrícola-bajo con Conservación-bajo
222	Urbano-medio con Agrícola-medio con Conservación-medio
333	Urbano-alto con Agrícola-alto con Conservación-alto
Conflictos urbanos	
212	Urbano-medio con Conservación-medio
221	Urbano-medio con Agrícola-meido
313 y 323	Urbano-alto con Conservación-alto
331 y 332	Urbano-alto con Agrícola-alto
Otros conflictos	
122	Agrícola-medio con Conservación-medio
133 y 233	Agrícola-alto con Conservación-alto
Sin conflictos	
211, 311, 312, 321 y 322	Aptitud Urbana
121, 131, 132, 231 y 232	Aptitud Agrícola
112, 113, 123, 213 y 223	Aptitud Conservación

Tabla II. Combinaciones de aptitudes de usos del suelo. Fuente: elaboración propia.

A partir de las combinaciones resultantes de la superposición de los mapas de aptitud, se procede a la aplicación de procedimientos de superposición con base en la capa de expansión urbana, de tal manera que se logra obtener el resultado final que consiste en un mapa síntesis donde se señalan las localizaciones con potenciales conflictos a partir de la expansión urbana (Figura 4).

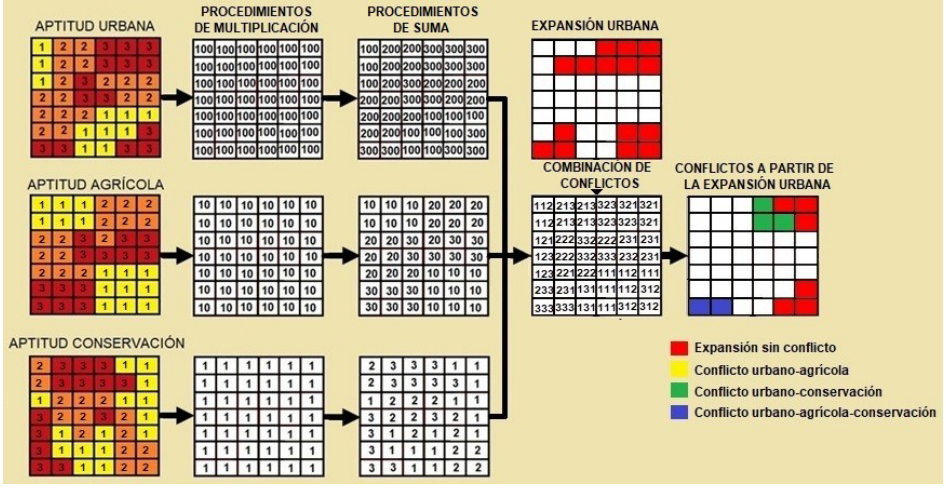


Figura 3. Modelado cartográfico para la determinación de potenciales conflictos entre usos del suelo a partir de la expansión urbana. Fuente: elaboración propia.

— *Modelado de secuencias*

El análisis de evaluación multicriterio integra factores estandarizados en clasificación *fuzzy* y restricciones de tipo booleanas para la creación de mapas de aptitud urbana, agrícola y de conservación.

Los resultados obtenidos se combinan mediante el procedimiento de *imposición* (Buzai y Baxendale, 2011b) en el modelado cartográfico a fin de lograr establecer los niveles de aptitud dentro del área de expansión urbana hacia el año 2030. La posterior aplicación del método LUCIS permite determinar los conflictos existentes ante la competencia espacial de usos del suelo, llegando al mapa síntesis y creando así una herramienta para la toma de decisiones en apoyo a la planificación.

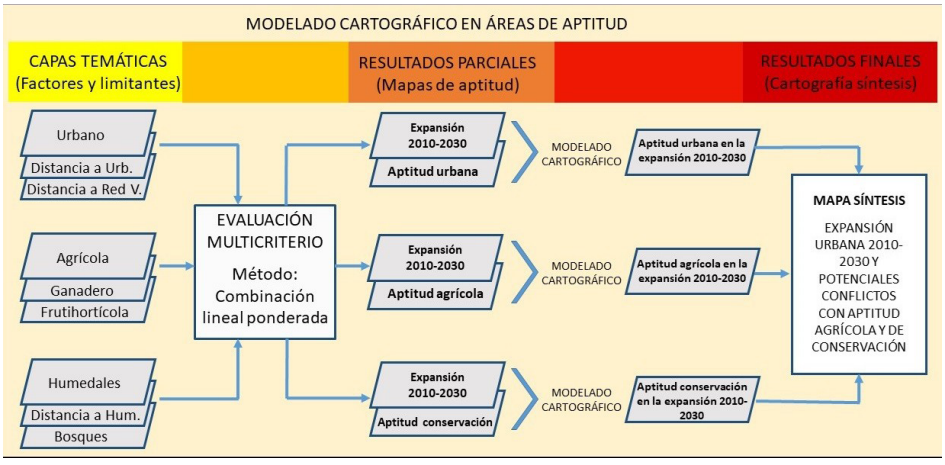


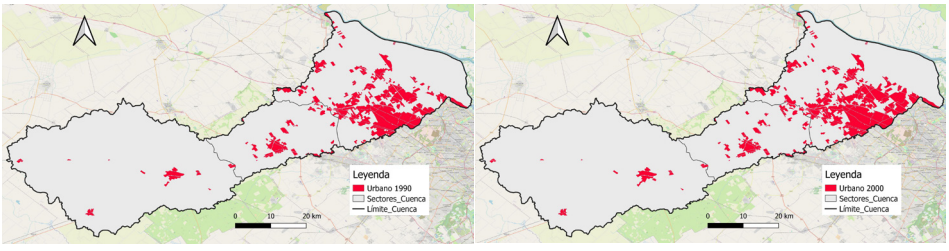
Figura 4. Esquema metodológico para el modelado de conflictos entre usos del suelo. Fuente: elaboración propia en base a Buzai (2018).

Resultados: modelado de la expansión urbana al 2030

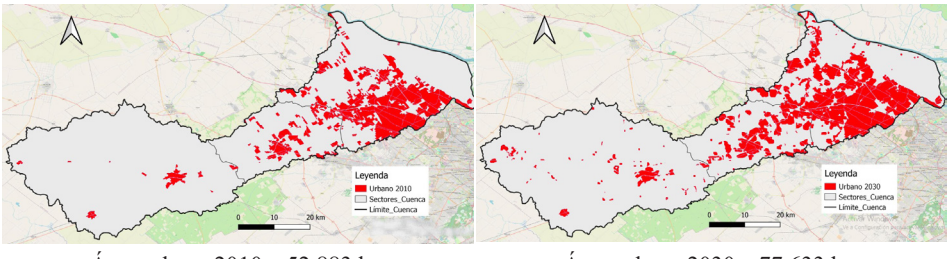
Siguiendo la secuencia presentada en el modelado de secuencias se consideraron las capas temáticas correspondientes a la distribución espacial de los aglomerados urbanos en diferentes años, siendo t-1 (2000), t (2010) y t+1 (2030), siendo este último el resultado final de la modelización.

Contar con la situación real del 2010 permitió validar el resultado, es decir, verificar cual es el grado de correspondencia que existe entre lo predicho por el modelo y la realidad. Para realizarlo fue aplicada una tabulación cruzada con la finalidad de comparar la similitud entre las capas temática precedentes correspondientes a 1990 y 2000, y lograr la de 2010 para compararla con su manifestación empírica a través del uso del índice Kappa considerando valores absolutos. El porcentaje de coincidencia total fue calculado como la sumatoria de la diagonal de la matriz dividido la cantidad de localizaciones del área de estudio:

El cálculo realizado entre los dos mapas brinda el resultado, . El valor obtenido presenta una muy alta correspondencia con la situación conocida. En la clasificación final sólo un 1,58% de las localizaciones rurales se consideran urbanas y un 1,66% de localizaciones urbanas se consideran rurales. Se obtiene una correspondencia del 96,77% para una superficie urbana que se estima en 52.883 ha.



Área urbana 1990 – 35.000 ha. Área urbana 2000 – 41.291 ha.



Área urbana 2010 – 52.883 ha. Área urbana 2030 – 77.633 ha.

Figura 5. Áreas urbanas 1990, 2000, 2010 y 2030. Fuente: elaboración propia.

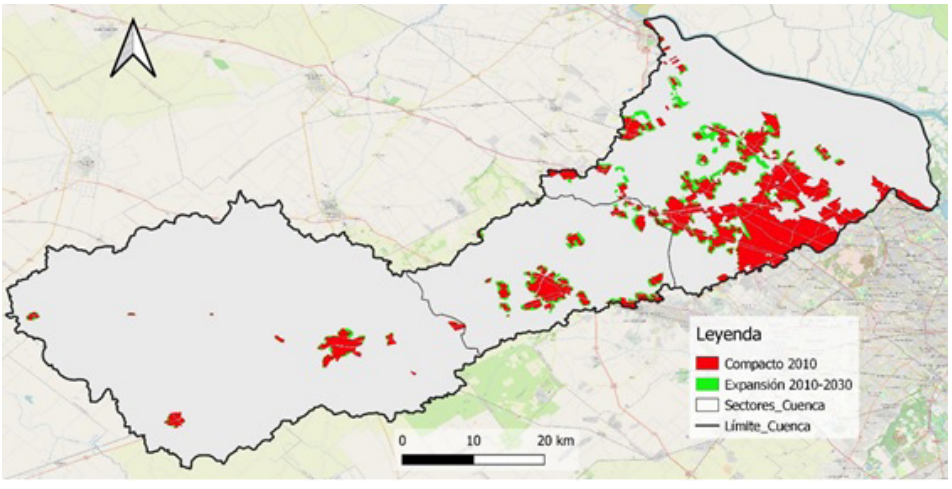


Figura 6. Expansión urbana 2010-2030. Fuente: elaboración propia.

Determinación de los mapas de aptitud de usos del suelo

— *Creación del mapa de aptitud urbana*

La aptitud para la expansión urbana fue calculada con tres capas temáticas a partir de los siguientes criterios: Distancia a áreas urbanas actuales, distancia a redes de transporte y categorías propensas de cambiar a uso urbano.

Se incorporan las áreas urbanas actuales considerando que las localizaciones contiguas y cercanas tendrán mayor aptitud para su expansión. Se modela un rango espacial que decae de forma lineal decreciente hasta los 6.000 metros de distancia con estandarización *fuzzy* que permite obtener diferentes niveles de aptitud continua.

El criterio Distancia a la red de transporte considera que las áreas óptimas para el desarrollo urbano son aquellas que se encuentran contiguas o cercanas a la red de transporte. Se modela un rango espacial que decae de forma lineal hasta los 3.000 metros de distancia con estandarización *fuzzy* que permite obtener diferentes niveles de aptitud continua.

Se considera la susceptibilidad que cada categoría tiene para cambiar al uso urbano. Tendrán mayor valor de aptitud aquellas categorías que se comprobó cambiaron de un uso no urbano a un uso urbano del 2000 al 2010, a partir cruce tabular de las dos fechas. Se reclasificaron las categorías en el siguiente orden de aptitud: Agrícola (1), Vegetación natural (2), Frutihortícola (3), Bosque (4), resto de las categorías (5). Se realizó la estandarización *fuzzy* lineal decreciente

El método de ponderación consideró el siguiente ordenamiento en la importancia de los factores: Distancia a áreas urbanas actuales (1), Distancia a redes de transporte (2) y Categorías más propensas de cambiar a uso urbano (2), dando como resultado los valores de 0,50; 0,25 y 0,25 respectivamente y se consideraron dos capas temáticas de restricciones: las superficies artificiales (categorías urbanas, inustrial, comercial y redes de transporte) y áreas naturales (cuerpos de augua y red hidrográfica) y de protección de cauces hídricos.

— *Creación del mapa de aptitud agrícola*

En este procedimiento se consideran las categorías con mayor tendencia al cambio hacia el uso del suelo agrícola. Como actividad tradicional en el área de estudio se observa que las áreas destinadas a dicha actividad presentan las más altas aptitudes para este uso y decae la valoración según el orden de categorías de usos del suelo, iniciando en los usos rurales, seguido por las coberturas naturales y semi-naturales, para finalizar en las superficies artificiales.

Se procedió a la reclasificación de doce categorías de usos del suelo en orden de disminución de aptitud: humedal, curso de agua, bosque, vegetación natural, gana-

dero, agrícola, frutihortícola, deportivo-recreativo, urbano disperso, industrial, red vial y urbano compacto.

Con posterioridad se aplicó una estandarización *fuzzy* lineal decreciente para estas categorías y utilizando un mapa de restricción que presenta imposibilidad de usos en las superficies artificiales se creó el mapa de aptitud agrícola utilizado en la siguiente etapa del trabajo.

— *Creación del mapa de aptitud para la conservación*

Los criterios considerados para la obtención del mapa de aptitud para la conservación fueron los siguientes: distancia a cursos de agua, distancia a humedales y aptitud de usos y coberturas del suelo.

Se considera que los cursos y cuerpos de agua y su zona circundante tendrán mayor aptitud para la conservación, debido a su importancia en el sistema hidrológico y su componente de flora y fauna. Para ello se realizó el mapa de distancias y la estandarización *fuzzy* a partir del cual la valoración decae de forma lineal hasta alcanzar los 1800 metros de distancia.

Se considera que los humedales y su zona circundante tendrán mayor aptitud para la conservación, como zonas que presentan una marcada biodiversidad en la región y por sus servicios ambientales. Para ello se realizó el mapa de distancias y la estandarización difusa a partir del cual la valoración decae de forma lineal hasta alcanzar el umbral de los 4800 metros.

Se consideran que los humedales tienen la máxima aptitud para la conservación, a partir de la cual decae la valoración según el orden de categorías de usos del suelo: Humedales, Bosques; Vegetación natural; los usos agropecuarios y artificiales. Se procedió a la reclasificación en el orden de 1 a 12, desde las categorías consideradas más aptas a las de menor aptitud. A partir de este resultado se aplicó la estandarización difusa lineal decreciente.

El método de ponderación se aplicó mediante el siguiente ordenamiento en la importancia de los factores: Aptitud de categorías más aptas para la conservación (1), Aptitud de distancia a cursos y cuerpos de agua (2), y Aptitud distancia a humedales (2) dando como resultado los valores de 0,50; 0,25 y 0,25 respectivamente y como restricciones, se consideraron las superficies artificiales, correspondientes a las categorías urbanas.

— *Aplicación de la regla de decisión y reclasificación de resultados*

A partir de los factores y los resultados del método de ponderación, se procedió a la aplicación del método de combinación lineal ponderada, que genera como resultado un índice sintético para cada localización. En este sentido, los procedi-

mientos técnicos de análisis de evaluación multicriterio permitieron obtener los mapas objetivo de aptitudes urbana compacta y dispersa, agrícola y de conservación. Estos mapas fueron reclasificados considerando un nivel de aptitud continua a partir de tres categorías: bajo, medio y alto.

$1 \leq ac \leq 3$

Donde, 1, 2 y 3 son valores de aptitud baja, media y alta respectivamente.

En base a estos procedimientos se generan los resultados parciales (Figura 8, Figura 9, Figura 10) a partir de los cuales se avanza hacia la combinación de los mapas de aptitud para la determinación de las áreas con potenciales conflictos entre usos del suelo.

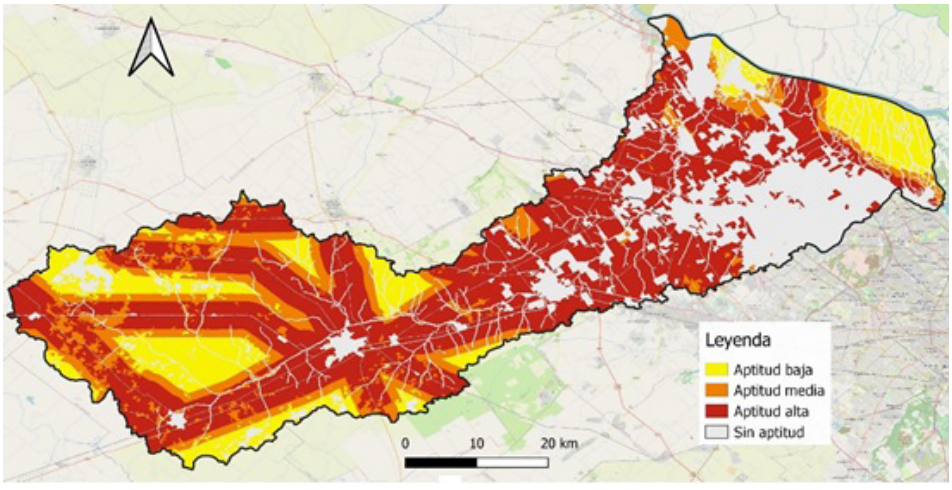


Figura 7. Distribución espacial de la aptitud urbana. Fuente: elaboración propia.

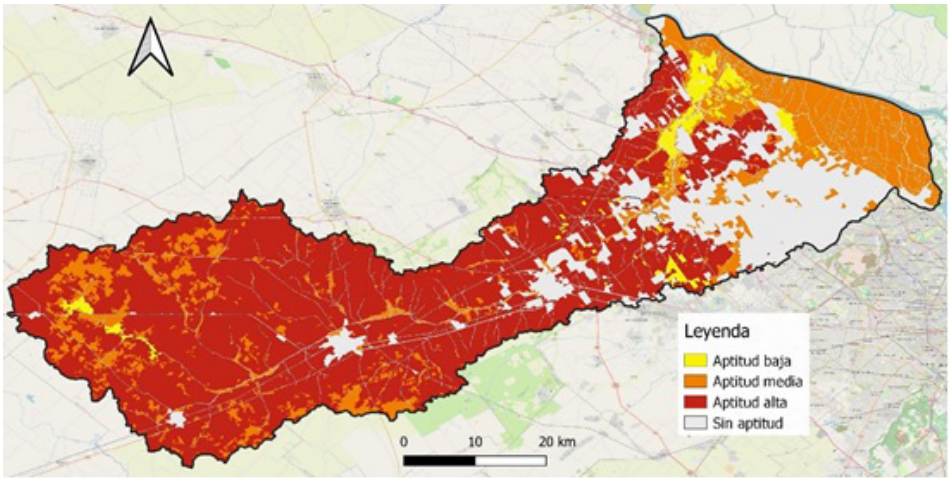


Figura 8. Distribución espacial de la aptitud agrícola. Fuente: elaboración propia.

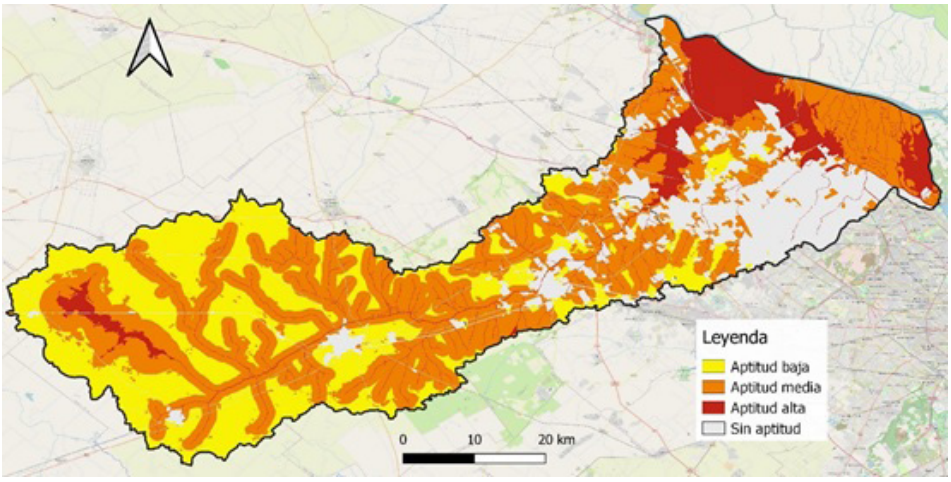


Figura 9. Distribución espacial de la aptitud conservación. Fuente: elaboración propia.

Crecimiento urbano y potenciales conflictos entre usos del suelo (2010-2030)

El presente apartado tiene como objetivo analizar la relación entre la expansión urbana proyectada hacia el año 2030 y las distribuciones espaciales de aptitud urbana, agrícola y de conservación, para la determinación de potenciales conflictos entre usos del suelo.

Los procedimientos metodológicos se enmarcan dentro del modelado cartográfico que se encuentra orientados a determinar la potencial configuración espacial futura de áreas urbanas (2010-2030), y su impacto sobre las aptitudes espaciales para la evolución de los usos del suelo urbano, agrícola y de conservación (Buzai, 2018). En este sentido, la búsqueda de sitios de aptitud locacional se apoya metodológicamente en la superposición cartográfica y procedimientos cuantitativos a partir de capas temáticas de interés para la investigación.

Determinación de la expansión urbana sobre áreas de aptitud

A partir de los resultados de reclasificación de los mapas de aptitud en tres categorías, se procedió a realizar la superposición temática con la superficie de expansión urbana proyectada para el año 2030. El concepto de asociación espacial permite relacionar la distribución espacial de los diferentes niveles de aptitud con la distribución de las áreas de expansión. De esta manera, es posible determinar las localizaciones que indican sobre qué niveles de aptitud se espera que se produzca la expansión urbana. Los mapas que se presentan a continuación, señalan los resultados de las correspondencias espaciales entre la distribución espacial de la expansión urbana con los niveles de aptitud urbana (Figura 11), agrícola (Figura 12) y de conservación (Figura 13).

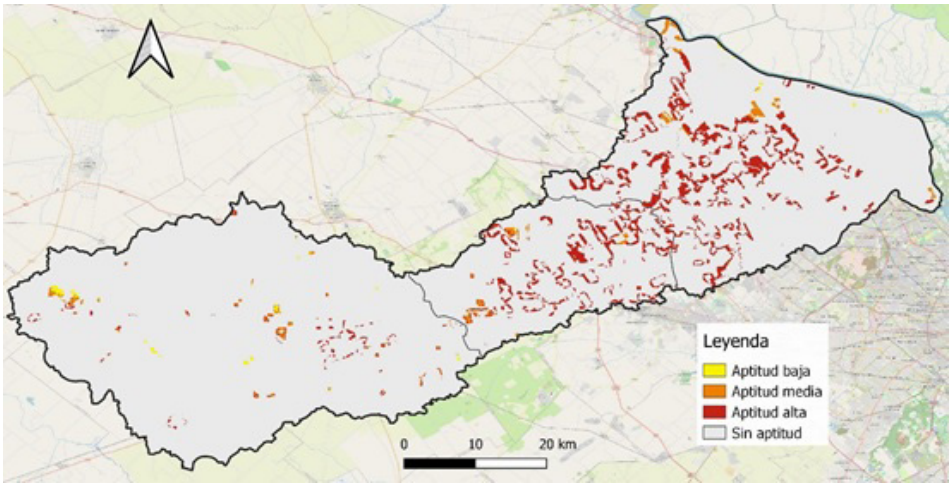


Figura 10. Aptitud urbana en área de expansión urbana. Fuente: elaboración propia.

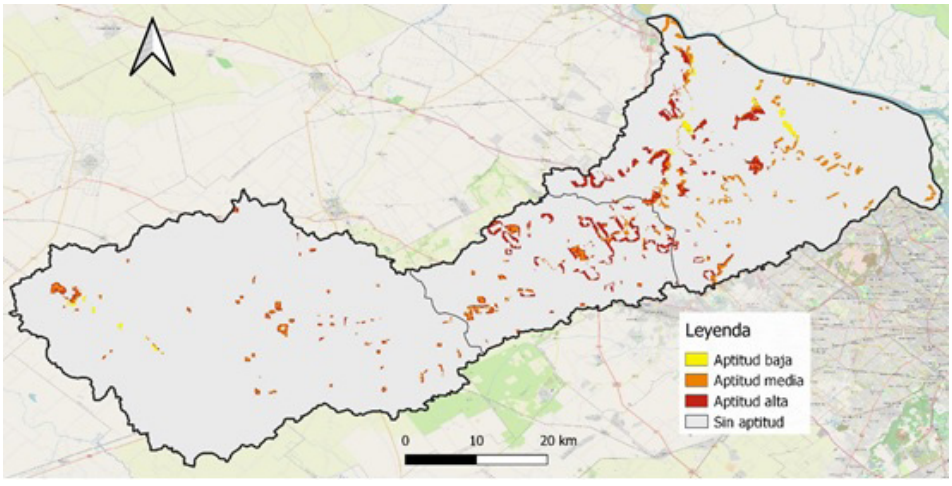


Figura 11. Aptitud agrícola en área de expansión urbana. Fuente: elaboración propia.

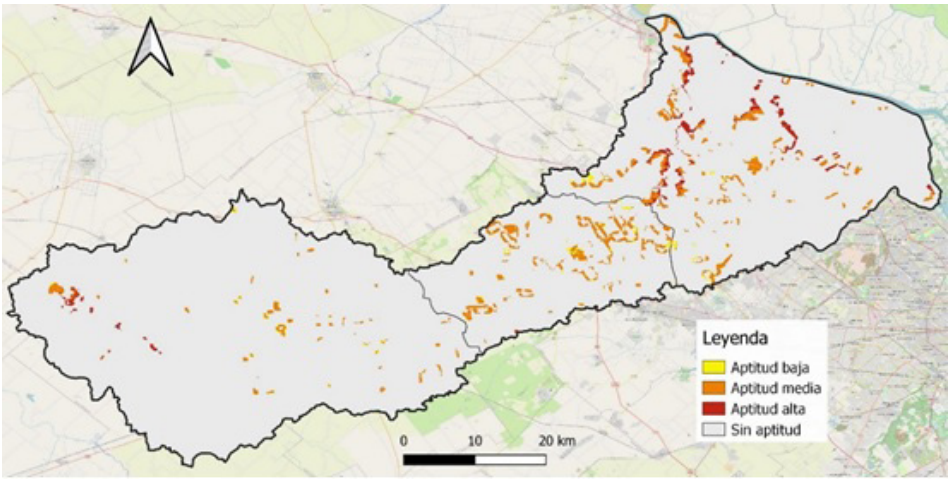


Figura 12. Aptitud de conservación en área de expansión urbana.
Fuente: elaboración propia.

El modelado cartográfico y los procedimientos cuantitativos aplicados permitieron calcular las superficies de aptitud diferencial en el interior de la expansión urbana hacia el 2030. La Tabla III presenta los resultados:

APTITUD	CATEGORÍA	EXPANSIÓN URBANA (2010-2030) en Ha.	EXPANSIÓN URBANA (%)
Aptitud urbana	Alta	22.645	91,49
	Media	1.537	6,21
	Baja	568	2,29
	Total	24.750	100
Aptitud Agraria	Alta	14.770	59,67
	Media	8.895	35,93
	Baja	1.085	4,38
	Total	24.750	100
Aptitud de Conservación	Alta	3.637	14,69
	Media	17.858	72,15
	Baja	3.255	13,15
	Total	24,750	100

Tabla III. Superficie de aptitudes en el área de expansión urbana 2010-2030.
Fuente: elaboración propia.

Considerando un total de 24.750 ha. para el crecimiento urbano proyectado hacia el año 2030, los resultados arrojan que contiene una superficie de altas aptitudes del 91,49% para el uso urbano, 59,67% para el uso agrícola y un 14,69% para

el uso de conservación. La mayor superficie de conservación corresponde a una categoría media con un 72,15%.

Las combinaciones realizadas entre el total de aptitudes revelarán las asociaciones espaciales que llevan a determinar las localizaciones con potenciales conflictos entre usos del suelo.

Identificación de áreas de potencial conflicto locacional

Las posibles combinaciones de usos que llevan a definir conflictos, surgen a partir de realizar una nueva reclasificación de los mapas de aptitud como paso previo a las combinaciones realizadas en la solución del método LUCIS. El resultado cartográfico final, en teoría, puede llegar a tener 12 categorías que presentan conflictos entre usos del suelo.

La Figura 14 presenta el mapa síntesis en donde los potenciales conflictos entre usos del suelo se agrupan en tres categorías que acompañan al área urbana 2010. La información cuantitativa calculada en estas distribuciones espaciales se presenta de forma global (Tabla IV) y discriminada por sectores de la cuenca (Tabla V).

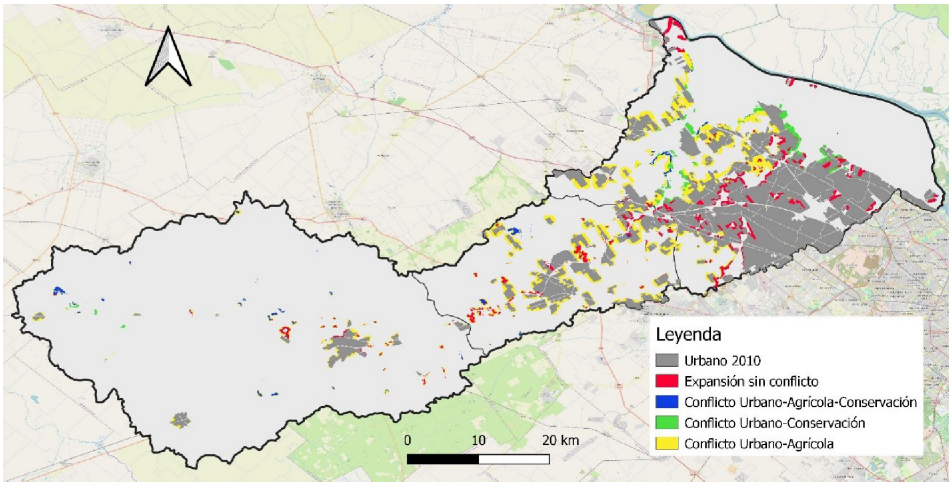


Figura 13. Áreas urbanas con potenciales conflictos agrícola y de conservación.
Fuente: elaboración propia.

CATEGORÍA	SUPERFICIE (Ha.)	EXPANSIÓN (%)	EXPANSION SIN/CON CONFLICTO (%)
Urbano 2010	58.883		
Expansión s/conflicto	8.274	33,43	33,43
Conflicto Urbano-Agrícola-Conservación	868	3,51	66,57
Conflicto Urbano-Agrícola	13.601	54,95	
Conflicto Urbano-Conservación	2.007	8,11	
Total	24.750	100	100

Tabla IV. Superficie del área de expansión urbana y potenciales conflictos (Ha). Fuente: elaboración propia.

Cuenca (sector)	Expansión s/conflicto	Conflicto Urbano-Agrícola-Conservación	Conflicto Urbano-Agrícola	Conflicto Urbano-Conservación	Total
Baja	6.671	254	7.464	1.897	16.286
Media	1.211	215	5.080	10	6.516
Alta	392	399	1.057	100	1.948
Total	8.274	868	13.601	2.007	24.750

Tabla V. Superficie del área de expansión urbana y potenciales conflictos entre usos del suelo según sector de la cuenca (Ha). Fuente: elaboración propia.

Los datos indican que la mayoría de los conflictos se producen ante la relación Urbano-Agrícola con un 54,95% y que dentro del área de expansión el 66,57% de las localizaciones presentan algún tipo de potencial conflicto entre usos del suelo. Asimismo, surge con evidencia que los conflictos urbanos se presentan con mayor intensidad en la cuenca baja, el 54,88% de los agrícolas y el 94,52 de los de conservación. El 49,97% de los conflictos mayores se produce en la cuenca alta, aunque representen el 25,64% de los conflictos de ese sector.

Consideraciones finales

A lo largo de la investigación, la aplicación metodológica fue realizada en una secuencia de etapas que llevan a la obtención de resultados en formato cartográfico y valores de superficie. Estos presentan diferentes distribuciones espaciales que permiten evaluar intensidades a través de valores cuantitativos representativos de las cualidades territoriales.

Las etapas incluyeron la representación de las áreas urbanas en diferentes años y su proyección como expansión prospectiva hacia el 2030 a través de la utilización de cadenas de Markov y la aplicación de autómatas celulares. La realización de mapas de aptitud para diferentes usos del suelo a través de la metodología de eva-

luación multicriterio y la identificación de áreas de potencial conflicto entre usos del suelo a través del método LUCIS. Esto último proporciona el resultado que es la base interpretativa de la temática en estudio.

A partir del análisis de la información generada queda en evidencia que la expansión urbana proyectada se produce sobre diferentes localizaciones con mayor aptitud para usos del suelo agrícola o para ser conservados si se consideran la preservación de la biodiversidad y los servicios ecológicos que esos espacios producen. Los mayores impactos se verifican en la cuenca baja donde el área urbana se expande de forma contigua al área compacta de la RMBA y luego en la cuenca media donde tienen gran protagonismo las ciudades de tamaño intermedio junto al gran parte de la urbanización dispersa. La expansión urbana sin conflicto se reparte de forma proporcional de acuerdo a la intensidad de ocupación de las áreas urbanas en cada sector de la cuenca.

Los resultados obtenidos se convierten en una herramienta de importancia en apoyo a la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial, principalmente al permitir la realización de diagnósticos que apoyan la realización de propuestas. En el presente caso corresponde a un mapa final junto a resultados cuantitativos que indican con claridad sobre qué áreas debería priorizarse la futura expansión urbana y sobre cuales habría que generar acciones para proteger la producción agrícola o la conservación ambiental.

Entonces, podemos afirmar que la secuencia metodológica realizada muestra a la Geografía Cuantitativa y los Sistemas de Información Geográfica con excelente capacidad para brindar respuestas en las que queden vinculados armónicamente los aspectos teóricos con la aplicación, en este caso orientada a la problemática socioespacial de usos del suelo en la cuenca del río Luján.

Finalmente, la posibilidad de transferencia de estos resultados hacia la gestión, corresponden a una etapa posterior en la cual nuestra unidad académica a través de los convenios vigentes llega hacia las instancias de planificación del gobierno provincial y los diferentes gobiernos locales del área de estudio. A través del aporte realizada en el campo de la Geografía Aplicada se logran conocimientos geográficos para la resolución de problemáticas socioespaciales, no solo las presentes, sino las que se prevén para el futuro.

Referencias

Aguilera Ontiveros, A. (2002). *Ciudades como tableros de ajedrez. Introducción al modelado de dinámicas urbanas con autómatas celulares*. El Colegio de San Luis.

Allen, P. (2000). *Living between urban and rural areas. Volume 1: Understanding change in the peri-urban interface*. University College London, Development Planning Unit.

Buzai, G. D. (2007). Actualización de cálculos y distribuciones espaciales a través de cadenas de Markov y autómatas celulares: Pérdida de suelos en el área metropolitana de Buenos Aires – 2001. En S. D. Matteucci (Ed.), *Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y Países Sudamericanos* (pp. 433-450). Ediciones INTA.

Buzai, G. D. (2018). Crecimiento urbano y potenciales conflictos entre usos del suelo en el municipio de Luján. *Cuadernos Geográficos, 57*(1), 155-176. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i1.5656

Buzai, G. D. (2025). *Modelos Urbanos*. Lugar Editorial.

Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2010). Método LUCIS – Land Use Conflict Identification Strategy. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica, 2*(2), 1-4.

Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2011a). Determinación de zonas de potencial conflicto entre usos del suelo en el Partido de Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina. En G. D. Buzai (Ed.), *Análisis de usos del suelo urbano-regional. Localizaciones óptimas y conflictivas con Sistemas de Información Geográfica* (pp. 175-183). PROEG 11.

Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2011b). *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica* (Tomo 1). Lugar Editorial.

Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2013). Aportes del análisis geográfico con Sistemas de Información Geográfica como herramienta teórica, metodológica y tecnológica para la práctica del ordenamiento territorial. *Persona y Sociedad, 27*(2), 113-141.

Buzai, G. D. y Lanzelotti, S. (2019). *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Instituto de Investigaciones Geográficas.

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

Carter, H. (1983). *El estudio de la Geografía Urbana*. Instituto de Estudios de Administración Local.

Cardozo, O., Vera, C. y Godoy, R. (2021). Detección de cambios en las coberturas de la tierra en el Gran Resistencia entre 1990 y 2020. GEOHOY, *2*(4). http://hum.unne.edu.ar/revistas/geohoy/index.htm

Carr, M. H. y Zwick, P. D. (2007). *Smart Land Use Analysis. The LUCIS Model*. ESRI Press.

Dzendoletas, A. (2011). Determinación de zonas de potencial conflicto entre usos del suelo en la ciudad de Bariloche, Provincia de Río Negro, Argentina. En G. D. Buzai (Ed.), *Análisis de usos del suelo urbano-regional. Localizaciones óptimas y conflictivas con Sistemas de Información Geográfica* (pp. 184-201). PROEG 11.

Gómez Delgado, M. y Rodríguez Espinosa, V. M. (2012). *Análisis de la dinámica urbana y simulación de escenarios de desarrollo futuro con tecnologías de la información geográfica*. Ra-Ma.

Humacata, L. (2017). *Análisis espacial de los cambios de usos del suelo en partidos de la franja 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].

Humacata, L. (2022). Análisis espacio-temporal de cambios de coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Luján (1990-2010). *Huellas, 26*(1), 145-160.

Humacata, L. (2025). *Análisis espacial del crecimiento urbano y conflictos ante cambios de usos del suelo en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina), en el periodo 1990-2010 y su modelización hacia 2030. Diagnóstico y propuestas con Sistemas de Información Geográfica* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Sur].

Instituto Nacional del Agua (2007). *Diagnóstico del funcionamiento hidrológico hidráulico de la cuenca del río Luján – Provincia de Buenos Aires. Delimitación de zonas bajo riesgo hídrico*. INA.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) (2023) Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022: resultados definitivos. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos, https://www.indec.gob.ar/

Lanzelotti, S. L. & Buzai, G. D. (2015). *Delimitación de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina* (Informe técnico PICT). Universidad Nacional de Luján.

Lara, B. (2014). *Fragmentación de pastizales en el centro de la provincia de Buenos Aires mediante imágenes LANDSAT* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires].

Linares, S. (2015). Aplicación de modelos de simulación de crecimiento urbano. En G. D. Buzai, G. Cacace, L. Humacata & S. L. Lanzelotti (Comps.), *Teoría y*

métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 1: Por una Geografía de lo real. MCA Libros.

Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons.

Martínez Vega, J., Echavarría Daspet, P. & González Cascón, V. (2008). Detección de cambios en los usos del suelo de la Alcarria Conquense: Análisis de su sostenibilidad. *Serie Geográfica, 14*, 13-178.

Mitchell, J. C. (2001). La expansión urbana. *National Geographic*, 82-107.

Morello, J., Buzai, G. y Baxendale, C. (2000). Urbanización y consumo de tierra fértil. *Ciencia Hoy, 10*(55), 50-61.

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. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica, 15*(25), 1-22.

ONU-Hábitat (2020). *Informe mundial de las ciudades 2020. El valor de la urbanización sostenible*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.

Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T. y Menor Toribio, J. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus, 3*, 22-44.

Pineda Jaimes, N. y Principi, N. (2019). Análisis espacial de cambios de usos del suelo con Sistemas de Información Geográfica. En G. D. Buzai, L. Humacata, S. Lanzelotti, E. Montes Galbán & N. Principi (Eds.), *Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 2: Por una Geografía Empírica*. Universidad Nacional de Luján.

Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2009). Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la comunidad de Madrid (1990-2000). *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, 13*(293).

Pontius, R. G., Shusas, E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 101*(2-3), 251-268.

Principi, N. (2019). *Análisis espacial de conflictos de usos del suelo en la cuenca del río Luján*. EdUNLu.

Ramírez, L. & Pértile, V. C. (2013). Cambio de uso de suelo y tendencias de la expansión urbana entre 1990 y 2030 en Juan José Castelli y Villa Ángela, Chaco, Argentina. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica, 5*(5), 194-216.

Tomlin, C. D. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Prentice Hall.

University of Florida (2014). *Land Use Conflict Identification Strategy (LUCIS). Technical Report*. Heartland 2060.

Urban, D. L. y Wallin, D. O. (2002). Introduction to Markov Models. En S. E. Gergel & M. G. Turner (Eds.), *Learning Landscape Ecology* (pp. 35-48). Springer-Verlag.

Vapñarsky, C. A. y Gorojovsky, N. (1990). *El crecimiento urbano en la Argentina*. Grupo Editor Latinoamericano.

Xie, Y. y Sun, Z. (2000). *Dynamic Urban Evolution Model Based on Cellular Automata*. Igre.

Fecha de recepción: 25/04/25
Fecha de aceptación: 06/10/25

© 2025 por los autores; licencia otorgada a la Revista Universitaria de Geografía. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-NoComercial 4.0 Argentina de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es