

Crecimiento urbano y potenciales conflictos entre usos del suelo en el municipio de Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Modelado espacial 2016-2030

GUSTAVO D. BUZAI¹ ✉

Recibido: 18/02/2017 | Aceptado: 28/04/2017

Resumen

El impacto de la urbanización sobre el uso del suelo rural es una temática de gran relevancia actual, principalmente cuando se analizan las regiones en la cuales este proceso influye en la actividad productiva primaria y en las condiciones naturales que brindan importantes servicios ambientales. En Argentina, la ecorregión Pampa Ondulada (Región pampeana) es una de las principales zona agroproductivas del mundo. En ella existe un notable crecimiento urbano a través del Gran Buenos Aires y ciudades de tamaño intermedio. El presente trabajo, mediante la utilización del análisis espacial cuantitativo con Sistemas de Información Geográfica, modela hacia futuro (2016-2030) el crecimiento urbano en el Partido de Luján y su impacto en las zonas de aptitud agroproductiva y de conservación ambiental. Los resultados obtenidos pueden considerarse una herramienta de gran importancia para la toma de decisiones espaciales en la definición de lineamientos en la planificación regional de los usos del suelo.

Palabras clave: Crecimiento Urbano; Expansión Urbana; Cambios de usos del suelo; Modelización urbana-regional; Geografía prospectiva.

Abstract

Urban Growth and Land-Use Conflict in The Municipality of Luján (Province of Buenos Aires, Argentina). Spatial Modeling 2016-2030

The impact of urbanization in rural land-use is a subject of great current importance, mainly when analyzing the regions in which this process influences in primary productive activity and natural conditions that provide important environmental services. In Argentina, the Rolling Pampa Ecoregion (Pampean region) is one of the main agro-productive zones of the world. In it there is a great urban growth through Greater Buenos Aires and medium-size cities. The present work models urban growth to the future (2016-2030) in the Municipality of Luján and its impact in zones with agro-productive and environmental conservation aptitude through the use of quantitative spatial analysis with Geographical Information Systems. The results obtained can be considered a tool of great importance for spatial decision making in the definition of lineaments in regional land-use planning.

Palabras clave: Urban Growth; Urban Sprawl; Land-Use Change; Urban-Regional Modeling; Prospective Geography.

1. Universidad nacional de Luján y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina. buzai@unlu.edu.ar

Résumé

La croissance urbaine et la perte de diversité des paysages à l'arrondissement de Luján (province de Buenos Aires, Argentine). Modélisation cartographique des changements d'utilisation de terres 2016-2030

L'impact de l'urbanisation sur l'utilisation des terres agricole est un thème d'une grande importance aujourd'hui, principalement quand on analyse les régions où ce processus influe sur l'activité productive primaire et les conditions naturelles qui assurent des services environnementaux. En Argentine, l'écorégion *Pampa Ondulada* (Région *Pampeana*) est l'une des régions plus importantes de production agricole dans le monde. Elle contient une croissance urbaine remarquable à travers le Grand Buenos Aires et les villes moyennes. Ce travail, à l'aide de l'analyse spatiale quantitative et les Systèmes d'Information Géographique, modèle à l'avenir (2016-2030) de la croissance urbaine à l'arrondissement de Luján et son impact sur les zones d'aptitude agroproductives et de conservation de l'environnement. Ces résultats peuvent être un instrument très important pour la prise des *décisions spatiales et la planification régionale*.

Mots clés: La croissance urbaine; L'expansion urbaine; *Changement d'utilisation des terres*; Modélisation urbaine-régionale; Géographie prospective.

1. Introducción

La relación conflictiva entre el crecimiento urbano y su entorno regional es una temática de gran importancia que actualmente tiene prioridad para la gestión presente y futura de usos del suelo por parte de las administraciones municipales ya que, en la mayoría de los casos, las principales ciudades crecen sobre suelos de gran importancia productiva y/o ambiental.

En la República Argentina, particularmente en la región pampeana (Pampa Ondulada), existe una importante asociación espacial de las mejores condiciones agroproductivas y de servicios ambientales con importantes áreas urbanas que se expanden generando problemáticas ambientales de diferente índole.

En este sentido, el cambio de uso del suelo de rural a urbano es un tema central en el análisis debido a la expansión del Gran Buenos Aires (GBA) y diversas aglomeraciones de tamaño intermedio (ATI). En el Municipio de Luján (Provincia de Buenos Aires) se verifican ambas situaciones al existir contigüidad espacial entre la ciudad de Luján (Cabecera del Municipio) y el extremo difuso más externo del GBA.

Existe una manifestación empírica que indica que lo que existe o sucede en un lugar no es ajeno a lo que existe o sucede en otro (Pumain y Saint-Julien, 2014), por tal motivo, el análisis de la expansión urbana tiene su base en el concepto de autocorrelación espacial en el marco de la dimensión temporal.

El estudio de la relación entre la expansión urbana y su contexto regional está orientado a verificar las distribuciones y asociaciones espaciales entre categorías de diferentes temas espacializados. Pero no solamente se intenta llegar a un modelo como visión simplificada de la realidad, sino a una modelización que aborde el funcionamiento del sistema a través del tiempo (Linares, 2016) y, de esa manera, descubrir situaciones causales que llevan a la determinación de conflictos entre los usos del suelo y las capacidades ambientales.

El presente trabajo pone su foco de atención en la expansión urbana (*urban sprawl*) (Mitchell, 2001; Bruegmann, 2006), principal manifestación empírica del sistema periurbano (Morello, 2003) como totalidad organizada; un área que generalmente es referida desde la Geografía Urbana como *franja* (Carter, 1995) o desde los estudios ambientales como *interface* (Allen, 2000) o *espacio exurbano* (Salvati *et al.*; 2013) y que surge con identidad entre las áreas rurales y urbanas.

El análisis prospectivo en Geografía tiene como objetivo captar la dinámica territorial a través de la construcción de configuraciones espaciales futuras que permitan estrategias de intervención. Mediante procedimientos del análisis espacial cuantitativo apoyado por la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) contamos con la posibilidad de realizar modelados espaciales en dos niveles: (1) *horizontal*: cambios de usos del suelo en la estimación de la expansión de las áreas urbanas del Municipio de Luján desde 2016 hasta el 2030, y (2) *vertical*: el impacto de este crecimiento sobre la aptitud geográfica para la evolución espacial de diferentes usos del suelo (urbano, agrícola y de conservación).

Para lograrlo, la investigación se apoya en una perspectiva sistémica y metodologías del análisis espacial cuantitativo en el ámbito de los SIG generando resultados que muestran un futuro hipotéticamente posible a partir de procesos causales que guían el crecimiento urbano. Corresponde a un cambio de nivel cuantitativo en los valores de superficie sin alteración de la estructura y función general de nivel regional (Briassoulis, 2000). Finalmente, su posterior asociación espacial con distribuciones espaciales de aptitud urbana, agrícola y de conservación, de acuerdo a Baxendale (2015), brinda la posibilidad de vinculación del análisis espacial cuantitativo para que la Geografía Aplicada exprese su mayor utilidad.

2. Aspectos teóricos

2.1. Teoría sistémica desde la Geografía

Las distribuciones espaciales no se producen de manera aleatoria, sino que resultan de acciones generales que permiten formular leyes y modelos que explican la organización del territorio. Desde un punto de vista sistémico la Geografía se entiende como la ciencia que formula y aplica las leyes que rigen las pautas de distribución espacial.

Estas serán la base de los resultados obtenidos en el marco de una Geografía Aplicada (Pacione, 1999; Phlipponneau, 2001) con las posibilidades que brindan los Sistemas de Información Geográfica (Bosque Sendra y García, 2000; Buzai y Baxendale, 2013) en apoyo a la intervención en el ordenamiento territorial a través de predicciones teóricas de las distribuciones espaciales. Resulta ser un claro ejemplo de lo que sería una Geografía Aplicada prospectiva que tiende al análisis de relaciones de causalidad en la modelización de configuraciones espaciales presentes y futuras.

El marco sistémico que tomamos para nuestros estudios complementa la Teoría General de los Sistemas (TGS) (Bertalanffy, 1968) y la Teoría de los Sistemas Complejos (TSC) (García, 2006). Ambas orientadas respectivamente hacia la búsqueda de comportamientos similares y aspectos específicos para cada escala de análisis (Buzai, 2015).

La TSC demostró importantes capacidades en dos niveles principales; en el estudio de la organización territorial y en la construcción de conocimientos en base a su aptitud epistemológica. La Geografía Urbana estudia la ciudad como sistema en cuatro escalas empíricas: *Global* (nodo

mundial de la red de lazos transaccionales), *Regional* (puntos en un espacio regional), *Urbano* (espacio interno de diferenciación areal) y *Local* (actores sociales en una escala de gran detalle).

Al aplicar conceptos de la TSC vinculados a los criterios demarcatorios del análisis urbano propuestos por Carter (1995) y Pumain (2010) consideramos que en el estudio de la organización territorial se realizan abordajes que podrían desembocar en tres niveles principales, uno *focal* para la resolución propia de la temática en un nivel espacial de la Geografía (Nivel urbano-regional), uno *supra-focal* de mayor generalidad (nivel internacional y origen de impactos mundiales de una urbanización planetaria) (Brenner, 2013) y uno *infra-focal* de mayor detalle en las acciones de los individuos (nivel local). De esta manera existe una gran estabilidad conceptual, al existir teorías específicas para cada nivel de la realidad.

La TGS se focaliza en aspectos generales y la TSC incluye aspectos específicos. Ambas brindan la posibilidad de estudiar la realidad como totalidad en sus múltiples dimensiones y detalles. El marco de análisis espacial es el de la Geografía Aplicada, donde el interés principal está puesto en la búsqueda de soluciones espaciales a problemáticas sociales y para ello nuestra perspectiva es la del *materialismo sistémico* (Bunge, 2012).

Desde esta perspectiva la Geografía Aplicada se basa actualmente en el análisis espacial cuantitativo con SIG y su nivel focal es intermedio. El materialismo sistémico considera que la realidad existe (*realismo*), que puede ser estudiada a partir de sus elementos materiales (*materialismo*), que estos elementos se relacionan ampliamente en la conformación de sistemas (*sistemismo*) y que la forma más eficiente de acceder a ello es a través de la ciencia (*cientificismo*).

Llevando estas consideraciones a la presente aplicación podemos apoyar estos cuatro aspectos a partir de considerar que el área urbana definida como aglomeración existe independientemente del observador, que su contenido puede ser estudiado a partir de los elementos materiales del espacio adaptado y del sistema de flujos creados para el desarrollo de actividades sociales y económicas urbanas, que se puede determinar una lógica de las distribuciones espaciales que permiten definir los factores de crecimiento y, finalmente, que la ciencia, a través de los SIG y del análisis espacial cuantitativo, permiten modelar este recorte de la realidad como *totalidad organizada* y realizar una exploración del crecimiento urbano para la obtención de resultados de utilidad para actuar sobre la realidad empírica.

2.2. Geografía Aplicada para el Ordenamiento Territorial

La Geografía como ciencia provee los principales aspectos conceptuales a las prácticas del ordenamiento territorial (Buzai y Baxendale, 2013). El ordenamiento territorial como actividad aplicada, presenta un *componente científico* asociado al uso de conocimientos, metodologías y herramientas para el análisis espacial, y un *componente profesional* en el que se plasman legalmente una serie de normativas y prácticas orientadas a actuar sobre las estructuras espaciales siguiendo una directriz política (Tapiador, 2001) Ambas en conjunto buscando el objetivo de obtener el desarrollo armónico y sostenible de un área de estudio en la búsqueda de equilibrios territoriales a través de la eficiencia, equidad (económica y social) y sostenibilidad, el desarrollo regional, la compatibilidad de usos del suelo y la mejora en la calidad ambiental y la calidad de vida (Salado García, 2010; Fuenzalida Díaz y Moreno Jiménez, 2012).

Considerando el interior de la planificación territorial, el *diagnóstico* realiza el análisis del sistema territorial presente y sus posibilidades de evolución futura y las *propuestas* establecen proyec-

nes de configuraciones definiendo la mejor de ellas junto a las medidas que deben tomarse para lograrla; finalmente la *gestión territorial* corresponde a la actuación administrativa que lleva al cumplimiento de esas medidas en una fase de *implementación* y por último de *seguimiento* administrativo (Gómez Orea, 2008).

Desde un punto de vista operativo la tecnología implica procedimientos y acciones para lograr determinados objetivos, ya sea comprender estructuras y funcionamiento, construir objetos, solucionar problemas prácticos o modificar la realidad. La diferencia entre técnica y tecnología se produce en el nivel de aplicación. Mientras la primera se encuentra orientada a la búsqueda de soluciones eficientes sin conocimientos de la base teórica (se incluyen conocimientos artesanales o precientíficos), la segunda corresponde a aplicaciones de base científica, en la cual se encuentra el uso de los SIG.

En este sentido, la Geografía Aplicada apoyada a través de los SIG brinda aspectos teóricos, metodológicos y tecnologías con la finalidad de abordar aspectos de la complejidad territorial que lleve a su posibilidad de ordenamiento. La utilización de modelos prospectivos resulta ser fundamental para avanzar hacia el futuro.

2.3. *Expansión urbana*

La expansión urbana es actualmente uno de los temas centrales en los estudios de la territoriales, ya que en este proceso se generan importantes problemas sociales y ambientales. Según las consideraciones de *Hábitat III* se estima que para el 2030 un 60% de la población mundial vivirá en ciudades y el 95% de la expansión urbana se producirán en los países en desarrollo (Naciones Unidas, 2016).

Ante la primera sistematización temática en castellano que apunta a aspectos teórico-metodológicos en el estudio de la expansión urbana, realizada por Gómez Delgado y Espinosa Rodríguez (2012) vemos la importancia temática que ha adquirido la temática a nivel iberoamericano.

Nuestra línea de investigación ha tomado como caso de estudio el Gran Buenos Aires en el análisis de su expansión vinculándola con la distribución poblacional (Buzai, 1993), su geometría fractal (Buzai, Lemarchand y Schuschny, 1998), el relieve y las inundaciones (Durán y Buzai, 1998), la modelización del crecimiento (Buzai, 2007), su contexto de períodos económicos (Buzai y Baxendale, 1998) y la pérdida suelos productivos (Baxendale y Buzai, 2011). Desde un punto de vista regional analizamos la expansión urbana como generadora de potenciales conflictos con usos del suelo rural y de conservación, en el Municipio de Luján (Buzai y Baxendale, 2008) y en la cuenca del río Luján (Buzai y Principi, 2017).

Desde la perspectiva científica que brinda la Geografía, el análisis de la expansión urbana, constituye un claro ejemplo de la relación sociedad-naturaleza (perspectiva ecológica), propone cambiantes diferenciaciones areales (perspectiva corológica) y permite modelizar la evolución espacial hacia futuro (perspectiva sistémica). En estas tres perspectivas se apoya la investigación que aquí se presenta a fin de obtener resultados de exploración futura al considerar que las distribuciones espaciales no se producen de manera aleatoria, sino que hay leyes de comportamiento que pueden ser explicativas.

3. Área de estudio

3.1. Datos básicos

El Municipio de Luján es una unidad político-administrativa de tercer orden de la República Argentina.² Es uno de los 135 municipios en que se divide la Provincia de Buenos Aires.

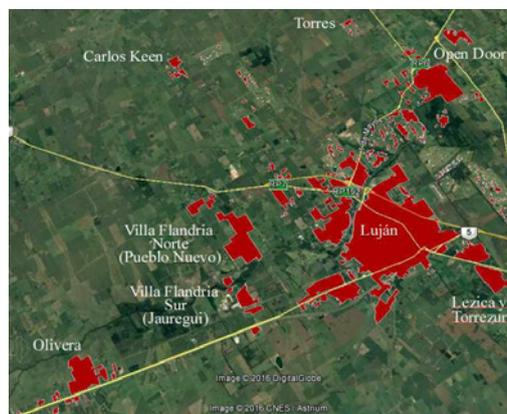
Tiene una superficie de 777,13 km² con 106.273 habitantes (40,10% varones y 50,90 mujeres) (INDEC, 2010) y su principal área urbana y cabecera es la ciudad de Luján, una aglomeración de tamaño intermedio que actualmente alcanza los cien mil habitantes. Los grandes grupos de edad indican que su población está compuesta por un 23,34% entre 0 y 14 años, 64,29% de 15 a 64 años y 11,36% de 65 años y más.

El Municipio de Luján se encuentra a 60 km. al Oeste de Buenos Aires (Mapa 1) y su localización en el espacio absoluto se considera en 34°33'59'' Sur y 59°06'53'' Oeste, en el centro de la ciudad de Luján. El área urbana del municipio está compuesta por una ciudad de tamaño intermedio (Luján), una serie de aglomeraciones que no llegan a ser ciudades³ (Carlos Keen, Cortines, Lezica y Torrezuri, Olivera, Open Door, Torres, Villa Flandria Sur o Jauregui, Villa Flandria Norte o Pueblo Nuevo) y las construcciones dispersas de las urbanizaciones cerradas aún no completas (Mapa 2).

Mapa 1. Municipio de Luján y aglomeración del Gran Buenos Aires



Mapa 2. Aglomeraciones del Municipio de Luján (detalle)



Fuente: El autor

La ciudad de Luján es el principal centro religioso nacional, siendo la Virgen de Luján (patrona de Argentina, Uruguay y Paraguay) una de las advocaciones con las que el catolicismo venera a la Virgen María, por lo tanto históricamente, la ciudad es un importante centro cultural y turístico nacional e internacional. Asimismo cuenta con una gran variedad de actividades económicas (Puente, 1999): es una zona con un alto potencial agropecuario que desarrolla con horticultura y fruticultura, ganadería general y una importante orientación deportiva (caballerizas, haras, studs), tambos y agricultura extensiva con trigo, maíz, girasol y soja. Cuenta con una importante tradición industrial inicialmente textil a las cuales se le sumaron alimenticias y manufactureras.

2. En la República Argentina las divisiones político-administrativas son de las siguientes magnitudes: 1er. Orden (País), 2do. Orden (Provincia), 3er. Orden (Departamento, llamado Partido en la Provincia de Buenos Aires, donde coincide espacialmente con los límites municipales). A partir de aquí son divisiones censales: 4to. Orden (Fracción censal) y 5to. Orden (Radio censal).
3. En la República Argentina se considera ciudad a un núcleo poblacional de más de 2.000 habitantes.

3.2. Capas temáticas

Las digitalizaciones de las capas temáticas que componen la base de datos en SIG se realizaron en formato vectorial en escala 1:10000. Los mapas precedentes muestran los polígonos del municipio y de las áreas urbanas sobre la imagen satelital de *Google Earth*.

Estas capas fueron transformadas a una estructura *raster*, en la cual el espacio geográfico se representa mediante una matriz cuadriculada en la que cada celda contiene información correspondiente a la característica predominante en el caso de áreas y presencia-ausencia en el caso de puntos y líneas presentes en ella. Cada celda es una localización, técnicamente denominada *pixel* (*picture element*) y es la unidad mínima de representación espacial.

Las capas temáticas utilizadas en la presente aplicación son: Ferrocarril, Hidrografía, Paisajes, Población, Relieve, Rutas, Suelos y Urbano 2016. Las características de la base de datos son: Filas: 140 celdas, Columnas: 140 celdas, Matriz: 19600 celdas, Área de estudio: 6400 celdas, Lado de la celda: 348,46 metros y Superficie de la celda: 12,14 hectáreas.

El sistema *raster* permite la realización de una gran cantidad de procedimientos de análisis espacial que se basan en la aplicación de cálculos matemáticos en los valores de una matriz o entre valores de diferentes matrices (capas temáticas) considerando los números de clasificación contenidos en cada celda (Buzai y Baxendale, 2011). En el presente trabajo se combinan análisis horizontales basados en la contigüidad espacial y análisis verticales basados en el modelado cartográfico.

3.3. Población

El análisis de la evolución de la población del Municipio de Luján será la característica emergente tomada para calcular su tendencia de crecimiento porcentual anual intercensal que se utilizará para realizar la modelización prospectiva de las áreas urbanas.

El crecimiento poblacional se considera una fuerza motriz de central importancia para el crecimiento urbano (Carr y Zwick, 2007; Henriquez Ruiz, 2014). Basado en Buzai (1993) lo hemos podido comprobar para el caso de Buenos Aires, dónde la serie de datos de población y superficie de la aglomeración brindan una correlación $r = 0,96$, lo cual por $r^2 = 0,92$ significa que el comportamiento de una variable puede explicar el 92% el comportamiento de la otra.

Para el Municipio de Luján, con los datos de población obtenidos en valores absolutos de los censos nacionales de población, hogares y viviendas de la República Argentina (1869 a 2010) fue calculado el crecimiento porcentual intercensal (CPI) y el crecimiento porcentual intercensal anual (CPIA) a partir de las fórmulas [2] y [3] respectivamente.

$$[2] \quad CPI = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100$$

$$[3] \quad CPIA = \left(\left(\frac{V_f}{V_i} \right)^{\frac{1}{T_n - T_0}} - 1 \right) \times 100$$

Donde, para ambas fórmulas V_i es el valor inicial, V_f es el valor final, T_n es el año final y T_0 es el año de inicio del período.

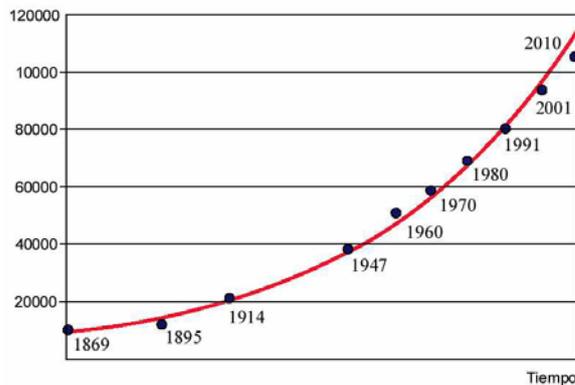
Los resultados se presentan en el Cuadro 1. Puede verse la evolución poblacional en valores absolutos y a partir de allí los cálculos intercensales. Desde un punto de vista global hubo un crecimiento mayor al novecientos por ciento en el período total.

Cuadro 1. Municipio de Luján. Población (1869-2010)

Años censales	Población	CPI	CPIA
1869	10256		
1895	12416	21,06	0,74
1914	20813	67,63	2,76
1947	38183	83,46	1,86
1960	51197	34,08	2,28
1970	58909	15,06	1,41
1980	68689	16,60	1,55
1991	80645	17,41	1,47
2001	93992	16,55	1,54
2010	106273	12,00	1,14
1869-2010		926,45	1,66

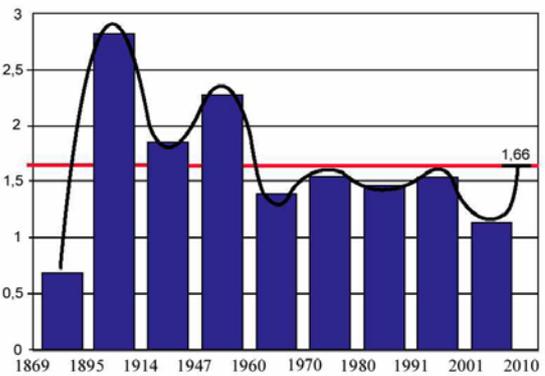
Las columnas CPIT y CPA brindan como resultado las representaciones presentadas en los gráficos 1 y 2 respectivamente.

Gráfico 1. Municipio de Luján. Evolución poblacional



Fuente: El autor

Gráfico 2. Municipio de Luján. Crecimiento anual relativo intercensal



Fuente: El autor

Para el período 1869-2010 la curva exponencial (Gráfico 1) presenta un excelente ajuste $r^2=0,99$, aunque desde 1991 se verifica el comienzo de un tercer período de un comportamiento logístico.

De acuerdo a las tendencias evidenciadas en el crecimiento intercensal anual (Gráfico 2) se pueden proponer tres situaciones: (1) cíclica, en la cual se produciría un nuevo período de aumento poblacional, (2) estable, manteniendo el mismo crecimiento del período anterior, y (3) disminución, siguiendo la tendencia de las dos décadas anteriores.

En el presente trabajo se opta por la primera tendencia. Desde 1869 hasta hoy se mantiene un ciclo continuo con una tasa general de 1,66% y al, mismo tiempo, el Gran Buenos Aires ha llegado al límite de crecimiento marcado por el último tramo de un crecimiento logístico (Baxendale y

Buzai, 1998). Para la aplicación consideraremos este dato que permite realizar una *aproximación exploratoria* (Borjerson, *et al.*, 2006) estimando su situación hacia el 2030.

3.4. Crecimiento urbano dual

Modelar la expansión de ciudades de tamaño intermedio resulta relevante, ya que según Hardoy *et al.* (2000) son las grandes ciudades las que se privilegian en estudios sociales y ambientales de utilidad para la gestión. En nuestro país es la ciudad de Tandil la que tiene estudios sistemáticos de su expansión desde un punto de vista sistémico (Linares, 2015).

El Municipio de Luján cuenta con una dinámica urbana que presenta gran interés. Cuenta con una ciudad de tamaño intermedio que crece tradicionalmente de manera compacta (Imagen 1) y una serie de nuevas urbanizaciones (*countries*) (Imagen 2) que fragmentan el espacio geográfico y que están ligadas principalmente al Gran Buenos Aires a partir de la suburbanización de clases sociales altas que espacialmente enfatizan un modelo de ciudad difusa (Buzai, 2014, 2016).

Los modelos urbanos para las ciudades de América Latina contemplan ambas situaciones, Griffin y Ford (1980) presentan la estructura compacta que tiene correspondencia con la ciudad de tamaño intermedio y Borsdorf (2003) presenta las áreas periurbanas difusas de las grandes ciudades. En el caso de Luján y por su situación geográfica se ve claramente la convivencia entre patrones espaciales de características diferenciales.

Imagen 1. Expansión urbana compacta



Imagen 2. Expansión urbana dispersa



Fuente: Fotografías GESIG / G.Buzai

El proceso de expansión urbana en el Municipio de Luján resulta notable y eso genera variadas *huellas del paisaje* como la superficie de tierras, aguas y ecosistemas naturales y seminaturales ecológicamente productivos que una ciudad consume cambiando irreversiblemente sus usos tradicionales (Morello *et al.*, 1998). Al transitar por las rutas es posible ver carteles en los cuales aparece el dinamismo del sector inmobiliario en la región (Imagen 3 e Imagen 4). Surgen, de esta manera, amplias zonas de potencial crecimiento urbano con futuro impacto en la geosfera (litosfera, hidrósfera y atmósfera), en la biosfera (hábitat de vegetales y animales) y en el hábitat humano.

Imagen 3. Solicitud inmobiliaria



Imagen 4. Terrenos en venta



Fuente: Fotografías GESIG / G.Buzai

En este sentido surgen variadas líneas de avance a partir de modelizar el crecimiento urbano y de sus variados potenciales efectos ambientales futuros. Aquí nos centraremos en la modelización prospectiva del crecimiento urbano y su impacto sobre el contexto regional en la formación de huellas que avanzan en un camino irreversible.

4. Metodología

4.1. Modelado de crecimiento urbano

El modelado de crecimiento urbano considera las etapas desarrolladas por Pontius *et al.* (2001), Pontius y Hao (2006) y Aguilera Benavente *et al.*, (2012), a partir de considerarse los factores de direccionamiento (*Drivers*) para la evolución espacial del uso del suelo utilizados para generar el mapa de aptitud para el crecimiento urbano.

El potencial de cambio de usos del suelo es un modelo que calcula probabilidades de cambio hacia uso urbano en cada celda del mapa resultado.

$$[4] \quad PC_{r-u} = f(d_1, d_2, d_3, \dots, d_n, i)$$

Donde PC_{r-u} que es el potencial de cambio de rural a urbano es una función (f) de los direccionadores o *drivers* (d) considerados y un parámetro i de incertidumbre del estudio exploratorio. El resultado es la realización de un mapa de probabilidad de direccionamiento del crecimiento urbano.

Primero, cada factor presenta categorías escalonadas de 1 a N, en ellas se obtiene el porcentaje de área urbana que contiene y esa clasificación en cada celda constituye un valor de probabilidad para la elección de la celda para su cambio de rural a urbana.

Segundo, cada factor se pondera por su importancia teórica en la resolución mediante los valores obtenidos por el cálculo de pesos de ponderación por ranking recíproco (Malczewski, 1999).

$$[5] \quad p_i = \frac{\frac{1}{r_i}}{\sum \frac{1}{r_i}}$$

Donde p_i es el valor de ponderación del mapa i , y r_i es el valor de ranking para el mapa i . Siendo que los valores de ponderación deben cumplir la siguiente condición.

$$[6] \quad 0 < p_i \leq 1$$

$$[7] \quad \sum p_i = 1$$

Los factores de direccionamiento considerados y los puntajes de ranking fueron los siguiente: FD_1) contigüidad a las áreas urbanas, FD_2) contigüidad a las rutas, FD_3) contigüidad al ferrocarril y FD_4) áreas no inundables. Los cálculos realizados se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Cálculo de ponderaciones por ranking recíproco

Factores	Ranking	1/Ranking	p
FD_1	1	1	0,35
FD_2	1	1	0,35
FD_3	2	0,5	0,175
FD_4	3	0,33	0,125
Σ		2,88	1,00

Tercero, se produce la resolución a partir del cálculo de una sumatoria ponderada en la cual cada celda con valor porcentual se multiplica por su valor de ponderación y se suma la totalidad de valores para cada factor de direccionamiento.

$$[8] \quad I(i) = \sum_{a=1}^A p_{a(i)} w_a$$

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 $p_{a(i)}$ 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 3 presenta mapa de direccionamiento con los valores de probabilidad al cambio.

La elección de las localizaciones que cambiarán de uso del suelo rural a 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 en las zonas contiguas al área urbana establecida.

Tercero, se elegirán las celdas ubicadas en las localizaciones de mayor idoneidad para el crecimiento dentro de la matriz siempre y cuando exista categoría urbano precedente en su interior hasta llegar al número de celdas establecido.

Cuadro 3: Combinatorias para la persistencia y cambio entre usos rural y urbano

		Urbana t1 con contigüidad espacial	
		Ausencia	Presencia
	No máximo	Persistencia	Persistencia
	Máximo	Persistencia	Cambio

4.2. Modelado de aptitud del suelo

La lógica del modelado cartográfico para la búsqueda de sitios de aptitud locacional se basa en la superposición de mapas a partir de la aplicación de procedimientos matemáticos entre capas temáticas correspondientes a los temas considerados en la investigación.

Existen diversos procedimientos que pueden ser aplicados en estructuras *raster* (Tomlin, 1990; DeMers, 2002) donde el mayor avance en el modelado cartográfico fue obtenido a través de la sistematización de las técnicas de evaluación multicriterio, procedimientos metodológicos presentados con amplitud en Gómez Delgado y Barredo Cano (2006) y Buzai y Baxendale (2011).

El análisis de evaluación multicriterio comienza con una información básica en formato cartográfico de las temáticas que son criterios a ser combinados metodológicamente. Hay dos tipos de criterios; los *factores* que presentan valores continuos de aptitud locacional, y las *restricciones* que son capas temáticas que actúan con la finalidad de confinar los resultados en un sector delimitado del área de estudio.

Cabe destacar que en la formación de factores puede ser utilizada la denominada lógica booleana de aptitud dicotómica (sin aptitud-con aptitud, 0-1) o la clasificación *fuzzy* de aptitud continua en un rango numérico (0 a 1, 0 a 255) (Burrough y McDonnell, 1998; Jiang y Eastman, 2000). Mediante la selección de variables, sus tratamientos tendientes hacia la generación de factores y restricciones, y la determinación de diferentes formas de combinación nos encaminamos hacia la búsqueda de resultados.

En Buzai y Baxendale (2011) se detallan las posibilidades metodológicas dentro del triángulo de decisiones estratégicas formado por un espacio de relaciones en el interior de dos ejes ortogonales entre el nivel de riesgo (x) y el nivel de compensación (y) en cuanto a la importancia (ponderación) de los factores.

El método booleano por multiplicación corresponde a un análisis de riesgo mínimo [9] con el mismo valor de ponderación para cada factor y la utilización de suma considera un riesgo escalonado entre el riesgo mínimo y máximo [10].

[9]	$I = \prod F$
-------	---------------

[10]	$I = \sum F$
--------	--------------

El método de combinación lineal ponderada (CLP o WLC *Weighted Linear Combination*) con riesgo medio y máximo nivel de compensación a de los factores (F) a través de diferentes valores de ponderación (p) y ajuste por multiplicatoria de las restricciones (R):

[11]	$I = \sum FpUR$
--------	-----------------

La fórmula 11 constituye la base para la resolución de la construcción de los mapas de aptitud que se detalla en el próximo punto.

4.3. La construcción de mapas de aptitud

4.3.1. Aptitud urbana

La aptitud para la expansión urbana ha sido calculada con 3 capas temáticas a partir de las siguientes definiciones:

- Urbano 2016 (Categorías: rural, urbano). Consideración de la aglomeración. Cálculo de distancias y estandarización *fuzzy* lineal decreciente (255-0 de 600 a 10.000 metros).
Criterio (F_1): *Aptitud de distancia a la aglomeración*.
- Población (Categorías: <4000 hab., 4000 a 8000 hab., 8000 a 12000 hab., 12000 a 16000 hab. Y > 16000 hab.). Reclasificación de cada categoría a 1, 4, 6, 10, 10 respectivamente y estandarización *fuzzy* lineal creciente (0-255 de 1 a 10).
Criterio (F_2): *Aptitud del total de población*.
- Rutas (Categorías: con rutas y sin rutas). Cálculo de distancias y de estandarización *fuzzy* lineal decreciente (255 a 0 de 600 a 10000 metros)
Criterio (F_3): *Aptitud de distancia a las rutas*.

El método de ponderación consideró el siguiente ordenamiento en la importancia de los factores: Aptitud de distancia las rutas (1), Aptitud distancia a la aglomeración (1) y Aptitud de total de población (2) dando como resultado los valores de 0,40; 0,40 y 0,20 respectivamente y se utiliza como restricción (R_1) la capa temática Rural2016 (0 Urbano, 1 Rural) aplicando la fórmula de la CLP [11]. El mapa de aptitud urbana (AU) surge a partir de: $AU [(F_1 \times 0,40) + (F_2 \times 0,20) + (F_3 \times 0,40)] \times R_1$ y su reclasificación en tres intervalos por cortes naturales.

4.3.2. Aptitud agrícola

La aptitud para la producción agrícola ha sido calculada con 3 capas temáticas a partir de las siguientes definiciones:

- Paisaje (Categorías: LOct, CCEc, COat, PDpc, LCcl, POcp). Reclasificación de cada categoría a 10, 3, 10, 4, 6, 6 y 1 respectivamente. Aplicación de estandarización *fuzzy* lineal creciente (0-255 de 1 a 10).
Criterio (F_1): *Aptitud del paisaje*
- Relieve (Categorías: 0-10 m., 10-20 m., 20-30 m., 30-40 m., >40 m.). Reclasificación de cada categoría a 1, 4, 6, 10 y 10 respectivamente. Aplicación de estandarización *fuzzy* lineal creciente (0-255 de 1 a 10).
Criterio (F_2): *Aptitud del relieve*.
- Suelos (Categorías: Suelo 1-sin limitaciones, Suelo 2-limitación drenaje, Suelo-3 limitación drenaje-salinidad-alcalinidad, suelo 4- limitación drenaje-alcalinidad, Suelo 5-limitación drenaje alcalinidad, Suelo 6-limitación drenaje). Reclasificación de cada categoría a 10, 6, 1, 3, 4 y 6 respectivamente. Aplicación de estandarización *fuzzy* lineal creciente (0-255 de 1 a 10).
Criterio (F_3): *Aptitud de los suelos*.

El método de ponderación consideró el siguiente ordenamiento en la importancia de los factores: Aptitud del relieve (1), Aptitud de los suelos (1) y Aptitud del paisaje (2) dando como resultado los valores de 0,40; 0,40 y 0,20 respectivamente y se utiliza como restricción (R_1) la capa temática Rural2016 (0 Urbano, 1 Rural) aplicando la fórmula de la CLP [11]. El mapa de aptitud agrícola (AA) surge a partir de: $AA [(F_1 \times 0,20) + (F_2 \times 0,40) + (F_3 \times 0,40)] \times R_1$ y su reclasificación en tres intervalos por cortes naturales.

4.3.3. Aptitud para conservación

La aptitud para la conservación ambiental ha sido calculada con 3 capas temáticas a partir de las siguientes definiciones:

- Ríos (Categorías: sin ríos, río principal y afluentes-arroyos). Cálculo de distancias y de estandarización *fuzzy* lineal decreciente (255 a 0 de 600 a 2200 metros)
Criterio (F_1): *Aptitud de distancia a los ríos*.
- Bañados (Categorías: con bañados y sin bañados). Cálculo de distancias y de estandarización *fuzzy* lineal decreciente (255 a 0 de 0 a 5000 metros)
Criterio (F_2): *Aptitud de distancia a bañados*.
- Paisaje (Categorías: LOct, CCEc, COat, PDpc, LAcl, Pocp). Reclasificación de cada categoría a 3, 10, 7, 10, 6, 3 y 1 respectivamente. Aplicación de estandarización *fuzzy* lineal creciente (0-255 de 1 a 10).
Criterio (F_3): *Aptitud del paisaje*

El método de ponderación consideró el siguiente ordenamiento en la importancia de los factores: Paisajes (1), Ríos (2) y Bañados (3) dando como resultado los valores de 0,55; 0,27 y 0,18 respectivamente y se utiliza como restricción (R_1) la capa temática Rural2016 invertida (0 Urbano, 1 Rural) aplicando la fórmula de la CLP [11]. El mapa de aptitud para la conservación (AC) surge de: $AC [(F_1 \times 0,27) + (F_2 \times 0,18) + (F_3 \times 0,55)] \times R_1$ y su reclasificación por cortes naturales.

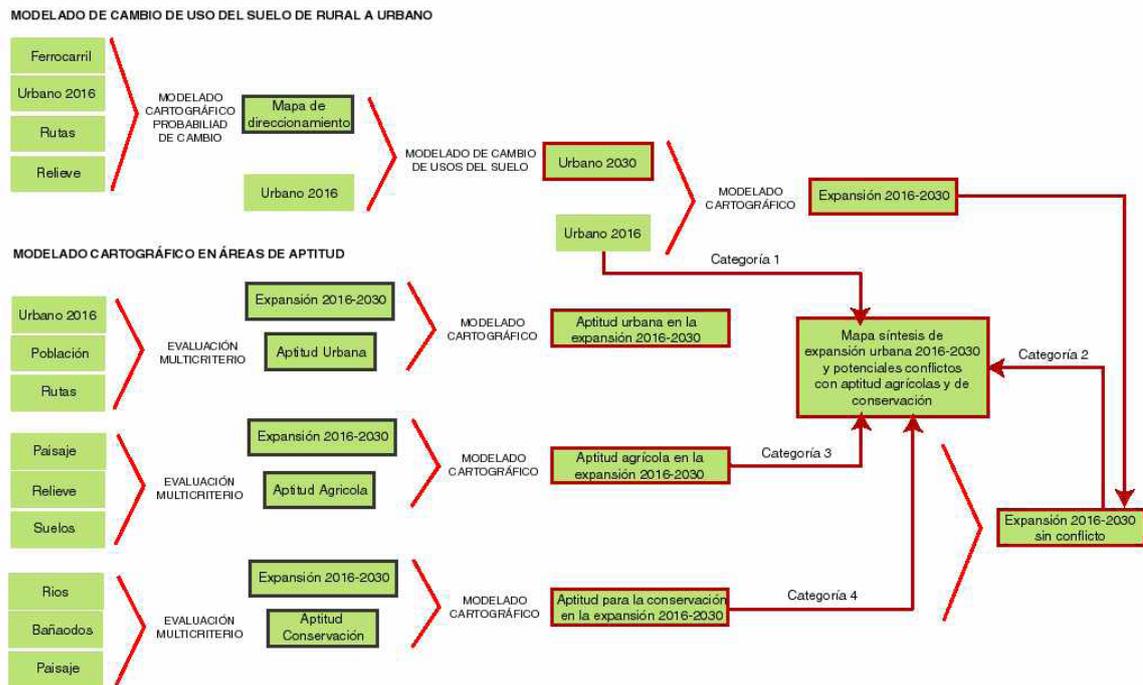
4.4. Diagrama de solución metodológica

La síntesis de la tarea metodológica realizada se encuentra detallada en el diagrama de solución (Gráfico 3) realizado a partir del modelado de secuencias adoptado en la investigación y que fuera detallado en los puntos precedentes. Las etapas se apoyan en el modelado de cambio de usos del suelo y en el modelado cartográfico de la distribución espacial de las áreas de aptitud.

Las cajas sin recuadro corresponden a las capas temáticas de la base de datos, las recuadradas en gris son resultados parciales y las recuadradas en rojo son resultados finales.⁴ En el siguiente punto serán presentados los resultados en detalle.

4. El mapa de expansión urbana 2016-2030 es un resultado final en el procedimiento de modelado de cambio de uso del suelo y se lo considera resultado intermedio en el proceso de modelado cartográficos de áreas de aptitud.

Gráfico 3. Diagrama de Solución



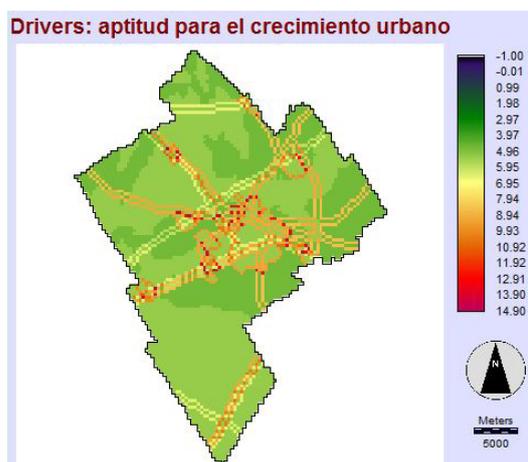
5. Resultados

5.1. Evolución espacial del área urbana de Luján entre 2016 y 2030

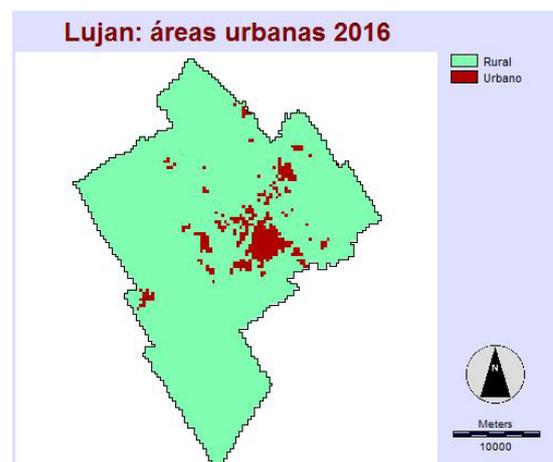
Las definiciones previas consideran un mapa de direccionamiento formado por la combinación de cuatro características y una matriz de contigüidad de 3x3. Los resultados obtenidos contemplan un crecimiento intercensal anual de población del 1,66% al extrapolar el valor de crecimiento porcentual anual de todo el período, en gran parte coinciden con el carácter cíclico evidenciado desde 1970.

Los resultados cartográficos se presentan a continuación, hacia la definición de un área urbana que hacia 2030 crece un 27,92%. A continuación se presentan los mapas de direccionamiento (Mapa 3), áreas urbanas 2016 (Mapa 4), áreas urbanas 2030 (Mapa 5) y áreas de expansión urbana 2016-2030 (Mapa 6).

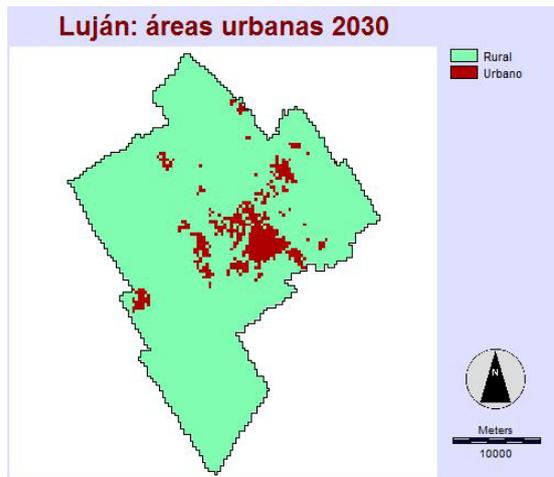
Mapa 3: Direccionamiento



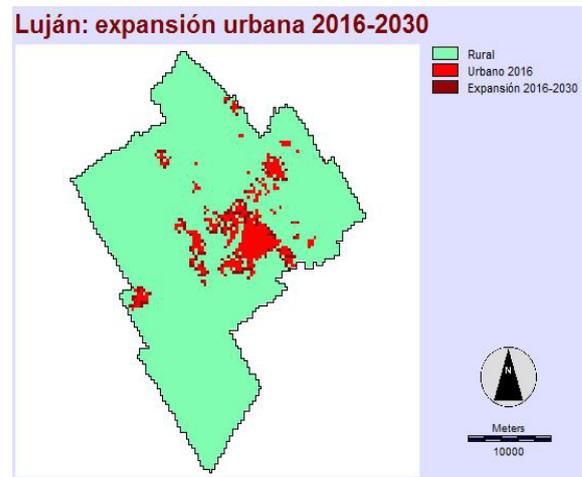
Mapa 4: Áreas urbanas 2016



Mapa 5. Áreas urbanas 2030



Mapa 6. Expansión urbana 2016-2030



A continuación se presenta la tabulación cruzada entre los mapas extremos, las categorías del área urbana de 2016 en las columnas y las del 2030 en las filas (Cuadro 4). Se evidencia la superficie en hectáreas que cambian de estado rural a urbano.

Cuadro 4. Tabulación cruzada entre urbano_2016 (columnas) y urbano_2030 (filas)
(valores en hectáreas)

	Fuera del área	Rural	Urbano	Total
Fuera del área	160283	0	0	160283
Rural	0	71982	0	71982
Urbana	0	1250	4481	5731
Total	160283	73232	4481	237996

Se destaca el aumento de 1250 hectáreas del área urbana cuando se lee la categoría 2 en el sentido de las filas y la misma disminución del área rural a partir de la categoría 1 en el sentido de las columnas.

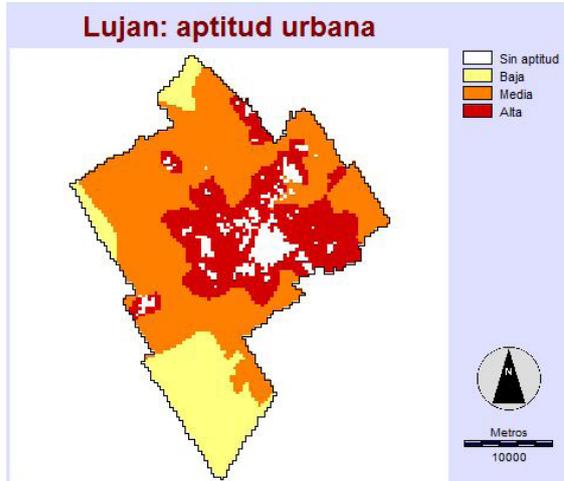
La imagen de evolución futura, en la línea del análisis exploratorio de datos espaciales, puede considerarse un tema central para la planificación territorial (Aguilera Benavente *et al.* 2011) ya que permitirá realizar evaluaciones correspondientes al impacto ambiental, disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones y generar estrategias como propuestas para el manejo de los impactos.

5.2. Crecimiento urbano y potenciales conflictos a nivel regional

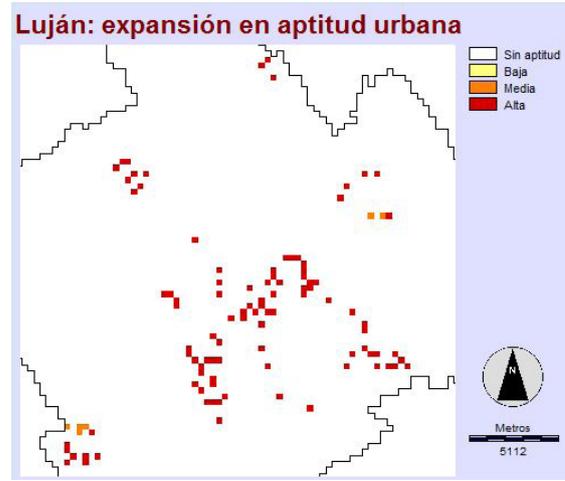
La asociación espacial entre la expansión urbana 2016-2030 y la distribución espacial para el desarrollo de diferentes usos del suelo se resuelve a través de procedimientos de superposición temática en los cuales el resultado presenta los niveles de aptitud en las localizaciones que corresponden a la expansión.

Los mapas 7, 9 y 11 presentan los resultados correspondientes a la distribución espacial de las aptitudes urbanas, para la actividad agrícola y para la conservación ambiental. Los mapas 8, 10 y 12 presentan los resultados de superposición mediante una ampliación del área dónde se produce la expansión urbana 2016-2030 con la clasificación de las zonas de aptitud.

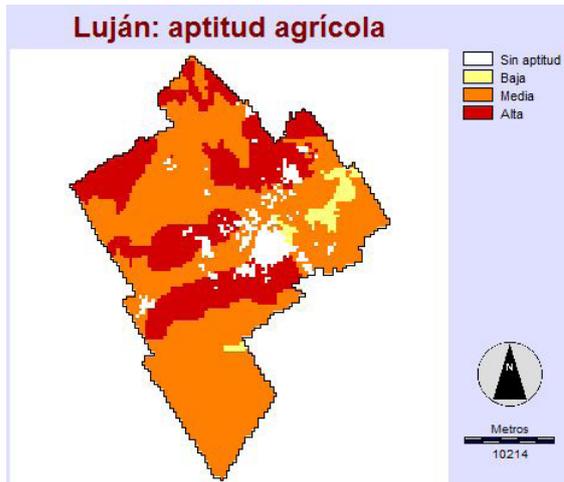
Mapa 7. Distribución espacial de la aptitud urbana



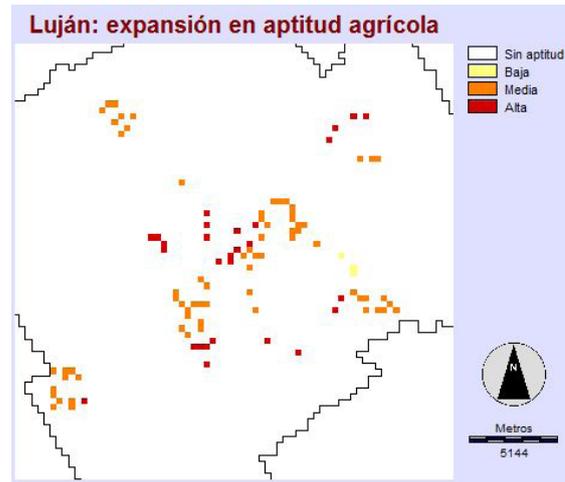
Mapa 8. Aptitud urbana en la zona de expansión urbana



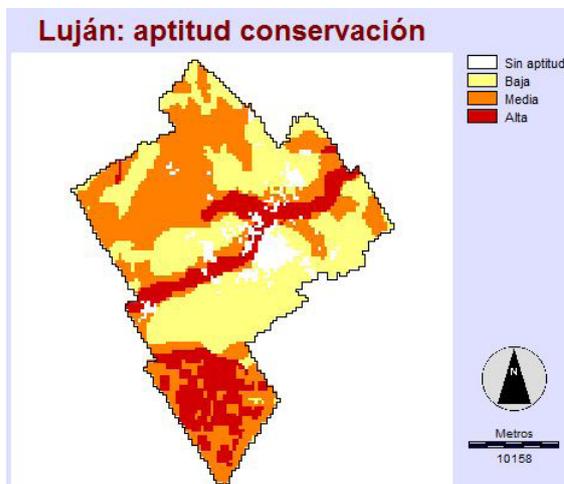
Mapa 9. Distribución espacial de la aptitud agrícola



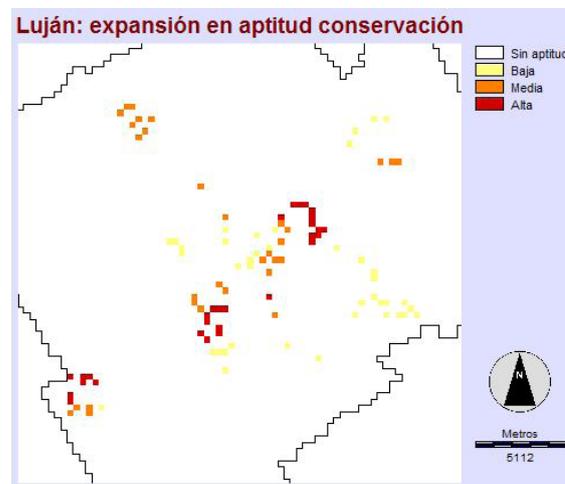
Mapa 10. Aptitud agrícola en la zona de expansión urbana



Mapa 11. Distribución espacial de la aptitud para la conservación



Mapa 12. Aptitud para la conservación en la zona de expansión urbana



Fuente: el autor

A partir de estos resultados cartográficos es posible calcular los datos numéricos de los valores superficiales en hectáreas para el total de relaciones (Cuadro 5).

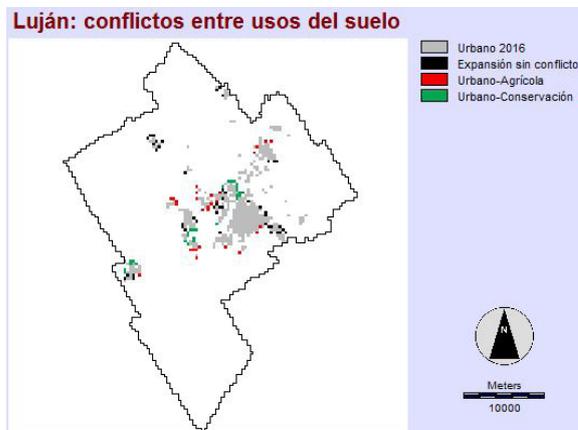
Cuadro 5: Expansión urbano sobre distribución espacial de aptitud

APTITUD	CATEGORÍA	EXPANSIÓN URBANA 2016-2030 (Ha)	EXPANSIÓN URBANA 2016-2030 (Ha %)
Aptitud Urbana	Alta	1177	94
	Media	73	6
	Baja	0	0
	Total	1250	100
Aptitud Agrícola	Alta	340	27
	Media	874	70
	Baja	36	3
	Total	1250	100
Aptitud de conservación	Alta	352	28
	Media	413	33
	Baja	485	39
	Total	1250	100

De acuerdo a los resultados del modelado exploratorio de cambio de usos del suelo las localizaciones urbanas aumentarán en 1250 hectáreas entre 2016 y 2030. A partir del modelado cartográfico se verifica una asociación espacial del 94% del crecimiento de la aglomeración sobre las zonas de aptitud urbana alta y el 6% restante sobre las zonas de aptitud urbana media. De esta manera se puede validar la aptitud del modelo de crecimiento (*perspectiva horizontal*) con características combinadas que favorecerían el cambio (*perspectiva vertical*).

El mapa 13 se forma con las distribuciones espaciales del área urbana en 2016 (Categoría 1), la expansión al 2030 sin conflicto (Categoría 2), en áreas de conflicto agrícola (Categoría 3) y en áreas de conflicto de conservación (Categoría 4).

Mapa 13. Zonas urbanas con potenciales conflictos agrícola y de conservación



Mapa 14. Ampliación de zonas de potenciales conflictos del mapa 13



Fuente: El autor

A partir de la cartografía realizada han sido calculados los valores de superficie en hectáreas de cada categoría en el cuadro 6.

Cuadro 6. Superficie del área de expansión y potenciales conflictos

Categoría	Superficie (Ha.)	% Expansión (Ha.)	% Expansión (Ha.) sin/con conflicto
Urbano 2016	4481	-----	-----
Expansión s/conflicto	559	44,72	44,72
Conflicto Urbano-Agrícola	340	27,20	55,28
Conflicto Urbano-Conservación	351	28,08	
Total	5731(*)	100	100
(*) Superficie de la aglomeración 2030			

La asociación espacial entre las localizaciones de crecimiento urbano y la aptitud agrícola indica que 340 hectáreas están sobre zonas de aptitud alta y 874 hectáreas sobre aptitud media. La asociación espacial con la aptitud para la conservación indica que 351 hectáreas están sobre zonas de aptitud alta y 413 hectáreas sobre aptitud media.

Como se verifica que las localizaciones de aptitud alta agrícola y de conservación no tienen correspondencia espacial (mapa 13) se puede afirmar que el potencial conflicto entre usos del suelo se producirá en 691 hectáreas, un 55,28% del crecimiento urbano.

El mapa 13 (contexto municipal) y el mapa 14 (ampliación de zonas urbanas) presentan los *clusters* principales de potencial conflictividad de la expansión urbana con la producción agrícola y las áreas de conservación respectivamente. A partir de aquí se cuenta con la distribución espacial y la superficie sobre las cuales se deberían activar mecanismos si se quisiera evitar esta expansión, por ejemplo incentivos económicos a la actividad agrícola que permitan equiparar los cambiantes valores del suelo o leyes restrictivas de protección ambiental con la finalidad de mantener los servicios ambientales actuales.

Desde el punto de vista de la Geografía Aplicada podemos afirmar que la aplicación de modelos de cambio de usos del suelo junto a las técnicas de valuación multicriterio se presentan como muy útiles líneas de aplicación de la tecnología SIG como herramienta de planificación territorial, combinando cuestiones cuantitativas y decisiones cualitativas, particularmente en la posibilidad de realizar diagnósticos que apoyen el logro de soluciones.

6. Consideraciones finales

La Geografía como ciencia permite realizar una aproximación sistémica para el estudio de la realidad socio-espacial a partir de aportar conceptos fundamentales que permiten demarcar operativamente la investigación y hacer uso de metodologías específicas. La posibilidad de combinar aspectos sistémicos con las tradicionales perspectivas ecológica y corológica permite considerar a la Geografía como ciencia base del Ordenamiento Territorial.

Los estudios sistémicos focalizados en la dimensión espacial brindan la posibilidad de aprehender la materialidad empírica del presente y sus tendencias evolutivas hacia el futuro haciendo que

la actividad científica haga uso de sus posibilidades prospectivas a través del uso de modelos y leyes del comportamiento espacial.

El análisis del crecimiento urbano y los cambios en los usos del suelo a nivel regional brindan la posibilidad de identificar áreas de potencial conflicto entre usos del suelo, y constituyen un tema de suma importancia para la construcción de conocimientos aplicativos en planificación. Los resultados de esta investigación generan herramientas orientadas hacia esta finalidad.

Los resultados obtenidos tienen un doble propósito: como base de interpretación de la estructura espacial presente con su evolución futura y como herramienta que permite actuar sobre la realidad. De esta manera, la ciencia provee conocimientos racionales en apoyo a la toma de decisiones en la búsqueda de soluciones a problemáticas socio-espaciales.

7. Referencias bibliográficas

- Aguilera Benavente, Francisco; Gómez Delgado, Montserrat y Plata Rocha, Wenseslao (2012) Escenarios y modelos de simulación como instrumento de planificación de ámbitos metropolitanos. En: Gómez Delgado, Montserrat y Rodríguez Espinosa, Víctor M. (Coords) *Análisis de la dinámica urbana y simulación de escenarios de desarrollo futuro con Tecnologías de la Información Geográfica*. Madrid: Ra-Ma, pp. 185-234.
- Aguilera Benavente, Francisco; Valenzuela Montes, Luis M.; Gómez Delgado, Montserrat y Plata Rocha, Wenseslao (2011). «Escenarios y modelos de simulación como instrumentos en la planificación territorial y metropolitana». *Serie Geográfica*. 17, 11-28.
- Allen, Patricia (2000). *Living between urban and rural areas. Volume 1: Understanding change in the peri-urban interface*. London: University College London, Development Planning Unit.
- Baxendale, Claudia A. (2015) «Ordenar el territorio con base en la Geografía Cuantitativa». En: Buzai, Gustavo D.; Cacace, Graciela; Humacata, Luis; Lanzelotti, Sonia L. (comp.) *Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 1: Por una Geografía de lo real*. MCA Libros. Mercedes, pp. 39-51.
- Baxendale, Claudia A. y Buzai, Gustavo D. (2011) «Dinámica de crecimiento urbano y pérdida de suelos productivos en el Gran Buenos Aires (Argentina), 1869-2011. Análisis espacial basado en Sistemas de Información Geográfica». *Serie Geográfica*. 17(77), 77-95.
- Bertalanffy, Ludwig von (1968). *General System theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.
- Borjerson, Lena; Höjer, Mattias; Dreborg, Karl H.; Ekvall, Tomas; Finnveden, Göran (2006) «Scenario types and techniques: Toward a user's guide». *Futures*. 38, 723-739.
- Borsdorf, Axel (2003). «Como modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana». *EURE*. 29(86), 37-49.
- Brenner, Neil (2013). «Tesis sobre la urbanización planetaria». *Nueva Sociedad*. 243, 38-66.
- Briassoulis, Helen (2000). *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modelling Approaches. The Web Book of Regional Science*. West Virginia University, Regional Research Institute. <http://www.rri.wvu.edu/webbook/briassoulis/contents.htm> [consulta: 6 de enero de 2017]
- Bosque Sendra, Joaquín y García, Rosa (2000) «El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial». *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 20, 49-67.
- Bruegmann, R. 2006. *Sprawl: a compact history*. The University of Chicago Press. Chicago.
- Bunge, Mario (2012). *A la caza de la realidad*. Barcelona: Gedisa.
- Burrough, Peter A. y McDonnell, Rachael A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press.
- Buzai, Gustavo D. (1993). «Evolución espacial y distribución poblacional en el Gran Buenos Aires». *Geodemos*. 1, 113-138.
- Buzai, Gustavo 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: Matteucci, Silvia D.

- (Ed.) *Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y Países Sudamericanos*. Buenos Aires: Ediciones INTA, pp. 433-450.
- Buzai, Gustavo D. (2012) «Evaluación multicriterio con Sistemas de Información Geográfica. Síntesis teórico-metodológica». En: Moreno Jiménez, Antonio; Buzai, Gustavo D. y Fuenzalida Díaz, Manuel (Eds). *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. Madrid: Ra-Ma, pp. 323-331.
 - Buzai, Gustavo D. (2014). *Mapas Sociales Urbanos*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
 - Buzai, Gustavo D. (2015). «Geografía Cuantitativa, Paradigmas y Simplicidad». En: Buzai, Gustavo D.; Cacace, Graciela; Humacata, Luis; Lanzelotti, Sonia L. (Comp.) *Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa*. Mercedes: MCA Libros, pp. 23-37.
 - Buzai, Gustavo D. (2016). «Urban models in the study of Latin American cities». *Innsbrucker Geographische Studien*. 40, 271-288.
 - Buzai, Gustavo D. y Baxendale, Claudia A. (1998). Buenos Aires (1869-1991). La geometría urbana como representación de una historia económica y sociodemográfica. *Signos Universitarios*. 18(34), 71-88.
 - Buzai, Gustavo D. y Baxendale, Claudia A. (2008). «Áreas de potencial conflicto entre usos del suelo. Identificación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (Segunda parte: aplicación)». *Fronteras*. 7(7), 33-39.
 - Buzai, Gustavo D. y Baxendale, Claudia A. (2011). *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1: Perspectiva científica, temáticas de base raster*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
 - Buzai, Gustavo D. y Baxendale, Claudia 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, Gustavo D.; Lemarchand, Guillermo A. y Schuschny, Andrés. (1998). «Aplicación de la geometría fractal al estudio del medio ambiente y las geociencias». En: Matteucci, S.D.; Buzai, G.D. (Eds.) *Sistemas Ambientales Complejos: herramientas de análisis espacial*. Buenos Aires: EUDEBA, pp. 347-364.
 - Buzai, Gustavo D. y Principi, Noelia (2017). Identificación de áreas de potencial conflicto en la cuenca del río Luján (Argentina). *Revista Geográfica de América Central*. 59, 91-124.
 - Carr, Margaret H. y Zwick, Paul D. (2007). *Smart Land-Use Analysis. The LUCIS Model*. Redlands: ESRI Press.
 - Carter, Halold (1995). *The Study of Urban Geography*. Edward Arnold. London.
 - DeMers, Michael (2002). *GIS Modeling in Raster*. New York: John Wiley.
 - Durán, Diana y Buzai, Gustavo D. (1998). «El medio construido y las inundaciones en la aglomeración Gran Buenos Aires». En: Durán, Diana (Comp.) *La Argentina Ambiental*. Buenos Aires: Lugar Editorial, pp. 253-270.
 - García, Rolando (2006). *Sistemas Complejos*. Barcelona: Gedisa.
 - Gómez Delgado, Montserrat y Barredo Cano, Ignacio. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Mexico DF: Alfaomega-Ra-Ma.
 - Gómez Delgado, Montserrat y Rodríguez Espinosa, Víctor M. (Coords) (2012). *Análisis de la dinámica urbana y simulación de escenarios de desarrollo futuro con Tecnologías de la Información Geográfica*. Madrid: Ra-Ma.
 - Gómez Orea, Domingo (2008) *Ordenamiento Territorial*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
 - Griffin, Ernest y Ford, Larry (1980). «A model of Latin American city structure». *Geographical Review*. 70(4), 397-422.
 - Hardoy, Jorge E.; Mitlin, Diana y Satterthwaite, David E. (2000). *Environmental Problems in an Urbanizing World: Local solutions for city problems in Africa, Asia and Latin America*. London: Earthscan.
 - Henríquez Ruiz, Cristián. (2014). *Modelando el crecimiento de ciudades medias*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
 - INDEC. 2010. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Buenos Aires. (Base de datos REDATAM, cuestionario básico).
 - Jiang, H.; Eastman, J.R. 2000. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Sciences*. 14(2), 173-184.
 - Linares, Santiago (2015). «Aplicación de modelos de simulación de crecimiento urbano». En: Buzai, Gustavo D.; Cacace, Graciela; Humacata, Luis y Lanzelotti, Sonia L. (comp) *Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 1: Por una Geografía de lo real*. Mercedes: MCA Libros, pp. 231-247.

- Linares, Santiago (2016). Geografía, Sistemas de Información Geográfica y Autómatas Celulares. *Workshop: Geotecnologías aplicadas a los estudios territoriales en La Pampa*. Santa Rosa: Universidad Nacional de La Pampa. 18 de noviembre.
- Malczewski, Jacek (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Mitchell, John G (2001). «La expansión urbana». *National Geographic* (en español). Julio, 82-107.
- Morello, Jorge (2003). *Urbanización dispersa y apropiación de ecosistemas naturales en el sistema periurbano del Gran Buenos Aires*. Buenos Aires: Proyecto de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Universidad de Buenos Aires.
- Morello, Jorge, Matteucci, Silvia D., Buzai, Gustavo D., Baxendale, Claudia A., Rodríguez, Andrea (2008). «Aplicación de la tecnología SIG para el análisis del soporte biofísico en áreas metropolitanas como herramienta de planificación: El caso de Buenos Aires». En: Matteucci, Silvia D.; Buzai, Gustavo D. (Comp.) *Sistemas Ambientales Complejos: Herramientas de Análisis Espaciales*. Buenos Aires: EUDEBA, pp. 409-423.
- Naciones Unidas (2016) Objetivos del desarrollo sostenible 17 objetivos para transformar el mundo. [consultado el 25 de abril de 2017]
- <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Pacione, Michael (1999). *Applied Geography: Principles and Practice*. London: Routledge.
- Philipponneau, Michael (2001). *Geografía Aplicada*. Barcelona: Ariel.
- Pontius, Roberto G.; Cornell, Joseph D. y Hall, Charles A.S. (2001). «Modeling the spatial pattern of land-use change with Geomod2: application and validation for Costa Rica». *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 1775, 1-13.
- Pontius, Robert G. y Chen, Hao (2006) *Geomod Modeling*. Worcester: Clark University.
- Puente, H.A. (Dir). 1999. *Argentina paso a paso. Provincia de Buenos Aires*. Planeta. Buenos Aires.
- Pumain, Denise (2010). «Alternative Explanations of Hierarchical Differentiation in Urban Systems». En: Pumain, Denise (Ed.) *Hierarchy in Natural and Social Sciences*. Berlin: Springer, pp. 169-222.
- Pumain, Denise y Saint-Julien, Therese (2014). *Análisis Espacial. Las interacciones*. Santiago de Chile: PUC-UdeC.
- Salado García, María Jesús (2010) «Ordenación del territorio. Evolución conceptual y retos pendientes». *I Congreso Internacional de Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica*. Tegucigalpa: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- Salvati, L.; Gargiulo Morelli, V.; Rontos, K.; Sabbi, A. 2013. Latent Exurban Development: City Expansion Along the Rural-To-Urban Gradient in Growing and Declining Regions of Southern Europe. *Urban Geography*. 34(3):376-394.
- Tapiador, Francisco J. (2001) «El papel del geógrafo en las directrices del ordenamiento territorial». *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. 31, 137-147.
- Tomlin, C. Dana. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. New Jersey: Englewood Cliffs – Prentice Hall.