

Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistemas de Información Geográfica

Luis Humacata*

Recibido 31 de agosto de 2018; aceptado 21 de noviembre de 2018

Abstract

The study of spatial dynamics incorporates time and generates an approach of great importance in scientific research, whose purpose is to determine the evolution of patterns of spatial distribution of land uses. The present work develops the conceptual and methodological aspects of spatial evolution analysis. Focused on the perspective of Rationalist Geography, we proceed to establish the scope of the concept and its link to the Geographic Information Systems as a tool oriented to the methodological application of cartographic superposition. In this sense, the methodology of detection of changes in land uses is presented, whose cartographic and statistical results allow to assess their magnitude, focused on determining the areas of profit and loss, net and total change, and exchanges between categories of uses of the land floor. The study area corresponds to three parties of the Metropolitan Region of Buenos Aires, where the urban growth of the urban agglomeration takes place, covering the period 2000-2010. The results obtained from the methodological application indicate the progress of urbanization on productive surfaces and the natural environment, mainly affecting agricultural and forestry activities. At the same time the process of agriculturization is appreciated that advances on spaces traditionally destined to the cattle and conservation activity. These results contribute to the realization of the diagnosis of the spatial dynamics of the occupation of the soil of the study area.

Key words: spatial analysis, changes in land use, Geographic Information Systems, Metropolitan Region of Buenos Aires.

* Becario doctoral, Comisión de Investigaciones Científicas, Universidad Nacional de Luján, Ruta Nacional 5 y Av. Constitución, 6700, Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina, correo electrónico: luishumacata@hotmail.com

Resumen

El estudio de la dinámica espacial incorpora el tiempo y genera una aproximación de gran importancia en la investigación científica, cuya finalidad es determinar la evolución de los patrones de distribución espacial de usos del suelo. El presente trabajo desarrolla los aspectos conceptuales y metodológicos del análisis de evolución espacial. Centrado en la perspectiva de la Geografía Racionalista, se procede a establecer los alcances del concepto y su vinculación a los Sistemas de Información Geográfica como herramienta orientada a la aplicación metodológica de superposición cartográfica. En este sentido, se presenta la metodología de detección de cambios de usos del suelo, cuyos resultados cartográficos y estadísticos permiten evaluar su magnitud, enfocados en determinar las superficies de ganancias y pérdidas, cambio neto y total, y los intercambios entre categorías de usos del suelo. El área de estudio corresponde a tres partidos de la Región Metropolitana de Buenos Aires, donde se produce el crecimiento oeste de la aglomeración urbana, abarcando el periodo 2000-2010. Los resultados obtenidos a partir de la aplicación metodológica señalan el avance de la urbanización sobre superficies productivas y del medio natural, incidiendo principalmente en las actividades agrícolas y forestales. A su vez se aprecia el proceso de agriculturización que avanza sobre espacios destinados tradicionalmente a la actividad ganadera y de conservación. Estos resultados aportan a la realización del diagnóstico de la dinámica espacial de la ocupación del suelo del área de estudio.

Palabras clave: *análisis espacial, cambios de usos del suelo, Sistemas de Información Geográfica, Región Metropolitana de Buenos Aires.*

Resumo

O estudo da dinâmica espacial incorpora o tempo e gera uma aproximação de grande importância na pesquisa científica, cuja finalidade é determinar a evolução dos padrões de distribuição espacial de usos do solo. O presente trabalho desenvolve os aspectos conceituais e metodológicos de análises da evolução espacial. Centrado na perspectiva da Geografia Racionalista, pretende-se estabelecer os alcances do conceito e sua vinculação aos Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta orientada a aplicação metodológica de superposição cartográfica. Neste sentido, se apresenta a metodologia de detecção de mudanças de usos do solo, cujos resultados cartográficos e estatísticos permitem avaliar sua magnitude, focados em determinar as superfícies de ganhos e perdas, mudanças líquidas e total, e as correlações entre categorias de usos do solo. A área de estudo corresponde a um terço da Região Metropolitana de Buenos Aires, onde se encontra o crescimento oeste da aglomeração urbana, abarcando o período 2000-2010. Os resultados obtidos a partir da aplicação metodológica assinalam o avanço da urbanização sobre superfícies produtivas e do meio natural, incidindo principalmente nas atividades agrícolas e florestais. Ao mesmo tempo, se

aprecia o processo de agricultura que avança sobre espaços destinados tradicionalmente a atividade pecuária e de conservação. Estes resultados aportam a realização do diagnóstico da dinâmica espacial da ocupação do solo da área de estudo.

Palavras chave: *análise espacial, mudanças de usos do solo, Sistemas de Informação Geográfica, Região Metropolitana de Buenos Aires.*

Introducción

Los trabajos que abordan la dinámica urbana ponen un mayor énfasis en distinguir los aspectos negativos que atentan contra la sostenibilidad territorial (Henríquez Ruíz, 2014), principalmente en los espacios periféricos de las grandes ciudades, donde se verifican empíricamente importantes cambios de usos del suelo y conflictos ante la expansión urbana (Arellano y Roca, 2010; Plata Rocha *et al.*, 2009). En este marco, como señalan Buzai y Baxendale (2006), el análisis socioespacial de la expansión de usos del suelo se realiza sobre distribuciones en las cuales existe una tensión constante entre demanda, oferta y decisiones sobre la organización del espacio. Entre estas tensiones, a causa de su dinamismo, las temáticas centrales se refieren principalmente a la modelización del crecimiento urbano y cambios de usos del suelo.

La expansión urbana generada por la dinámica de crecimiento de las grandes ciudades latinoamericanas está produciendo, en las últimas décadas, conflictos por la competencia espacial entre usos del suelo en aquellos territorios que constituyen su interfase urbano-rural (Janoschka, 2002; Borsdorf, 2003). El avance de la urbanización dispersa en territorios de la periferia metropolitana genera la fragmentación del territorio, la pérdida de usos del suelo que sustentan actividades socioeconómicas tradicionales y el impacto ambiental adverso en cuanto a la disminución de los servicios ecosistémicos (Matteucci *et al.*, 2006; Arellano y Roca, 2010). Es por lo dicho que el presente trabajo tiene como objetivo abordar la dinámica de ocupación del suelo en partidos que integran la interfase urbano-rural de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), y que están sujetos a procesos de urbanización de gran dinamismo vinculados a la expansión del aglomerado Gran Buenos Aires. La relevancia de la temática abordada está dada por el impacto negativo que genera el cambio en los usos del suelo a través de la expansión urbana en espacios naturales de conservación y en sitios de producción rural tradicional. Se generan conflictos de competencia espacial entre usos del suelo y ello afecta notablemente a las actividades desarrolladas por las poblaciones locales, entre las que cabe mencionar la modificación de la topografía que genera problemas ambientales severos, como el caso de las inundaciones en zonas urbanas y rurales.

Para ello se procedió metodológicamente a la elaboración de cartografía temática de coberturas y usos del suelo en dos cortes temporales, años 2000 y 2010, constituyéndose en la base cartográfica para la aplicación de los procedimientos de detección de cambios de usos del suelo en el área de estudio. Los resultados se orientan a generar información actualizada de la dinámica de ocupación de usos del suelo en el área de estudio en el periodo analizado, constituyéndose en una valiosa herramienta de base para el diagnóstico territorial a escala urbano-regional.

Aspectos conceptuales

Análisis de la evolución espacial en Geografía

Si bien la Geografía es considerada como una ciencia del presente, en ningún momento se deja de reconocer la importancia de la dimensión temporal en estudios de mayor alcance, siendo que ir hacia el pasado nos muestra el origen de las manifestaciones empíricas del presente. De este modo, podemos señalar que un análisis centrado en el dónde, corresponde a una visión basada en la localización, y en el cuándo, en una visión basada en el tiempo. En este sentido, el cómo, desde un punto de vista espacial, presentaría el camino evolutivo espacio-temporal. El concepto de evolución espacial considera la incorporación de la dimensión temporal a través de la permanente transición de un estado a otro (Buzai, 2010).

Desde un abordaje principalmente espacial, la Geografía en su vertiente cuantitativa y racionalista ha desarrollado relevantes avances en la sistematización de procedimientos analíticos con la finalidad de determinar la evolución de los patrones de distribución espacial de usos del suelo. En este sentido, la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha posibilitado la obtención de resultados cartográficos y numéricos de suma utilidad en el ámbito de la planificación territorial. Los avances en la modelización de aspectos evolutivos del espacio geográfico (Aguilera Ontiveros, 2002; Batty, 2005; Buzai y Baxendale, 2012; Henríquez Ruíz, 2014), como aquellos orientados al análisis del crecimiento urbano y cambios de usos del suelo, brindan importantes herramientas metodológicas para el estudio de la dinámica de ocupación del suelo a escala urbano-regional. Dentro de esta línea podemos señalar la metodología de detección de cambios de usos del suelo desarrollada por Pontius *et al.*, (2004). En este marco podemos señalar números trabajos de investigación a nivel nacional e internacional que han obtenido resultados satisfactorios de la aplicación metodológica (Martínez Vega *et al.*, 2008; Pineda Jaimes *et al.*, 2008; Plata Rocha *et al.*, 2009; Ramírez y Pértile, 2013; Lara, 2014; Humacata, 2017).

Cabe considerar también que la Geografía, siguiendo a Buzai (2010), además de definirse básicamente como una ciencia del presente que acude al pasado para ver la génesis de las configuraciones espaciales actuales también puede considerarse una ciencia del futuro (ciencia prospectiva). Los avances en esta línea de investigación, a

partir de trabajos de modelización (entendida como proceso que lleva a un modelado dinámico de datos espaciales), se apoyan en la metodología de análisis de evaluación multicriterio para la identificación de potenciales conflictos entre usos del suelo (Malczewski, 1999; Gómez Delgado y Barredo Cano, 2006; Buzai *et al.*, 2017), y los modelos de simulación de configuraciones espaciales futuras en base a autómatas celulares (Aguilera Benavente *et al.*, 2009; Gómez Delgado y Rodríguez Espinosa, 2012; Linares, 2015).

La interfase urbano-rural: El fenómeno de la urbanización dispersa

La dinámica de ocupación de usos del suelo vinculada a la expansión urbana será considerada a partir del fenómeno de urbanización dispersa o *urban sprawl*; este concepto se relaciona con el proceso de urbanización desde la ciudad compacta a estructuras más fragmentadas, generando el avance del uso del suelo urbano en territorios periféricos.

Si bien existen varias definiciones de este concepto, la mayoría de los trabajos concuerdan en vincularlo con la ocupación dispersa de las nuevas urbanizaciones caracterizado por la baja densidad edificatoria, el avance del uso urbano y de servicios sobre actividades productivas y del medio natural, generando la fragmentación del territorio (Arellano y Roca, 2010). El crecimiento acelerado de la urbanización provoca conflictos de usos del suelo y problemas ambientales en los espacios rurales hacia los cuales se dirige. Esta configuración espacial de las ciudades metropolitanas indica un continuo avance de la urbanización sobre espacios destinados tradicionalmente a actividades agropecuarias. Estos procesos dan como resultado la ampliación de la periferia metropolitana, constituyéndose en el espacio de mayor dinamismo (Barsky, 2005), lo cual implica una mayor atención desde el ordenamiento territorial.

Descripción del área de estudio

La Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) está integrada por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 40 municipios bonaerenses. Posee una superficie de 13 975 km² y se constituye en el centro de mayor concentración de población a nivel nacional, con 14 839 746 habitantes (INDEC, 2010). El área de estudio (Figura 1) de la presente investigación corresponde a tres partidos del sector de crecimiento oeste metropolitano: General Rodríguez (87 185 hab), Luján (106 273 hab) y Moreno (452 505 hab), con una población total de 645 963 habitantes (INDEC, 2010). Estos partidos presentan diferencias graduales en cuanto al impacto generado por la dinámica metropolitana, por lo que el abordaje corresponde a un nivel subregional, a partir de considerar la dinámica de ocupación del suelo de uno de los sectores de crecimiento metropolitano asociado a la red de autopistas.

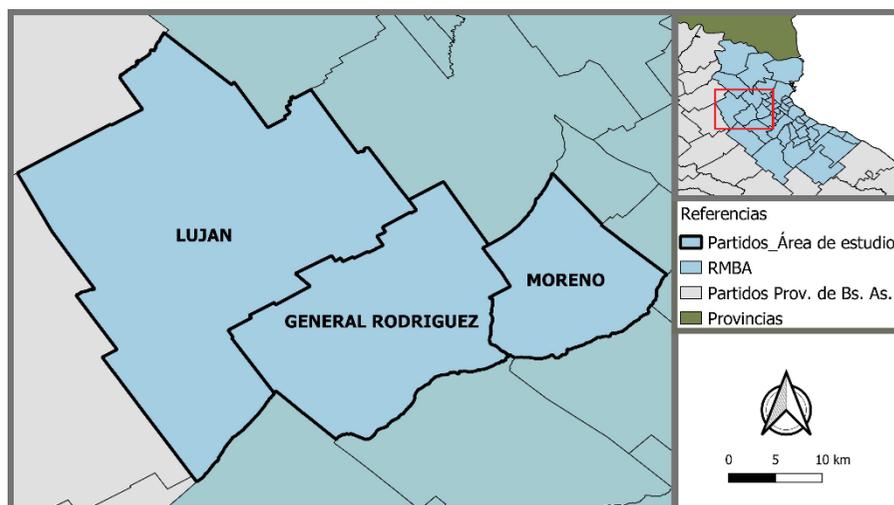


Figura 1. Partidos del sector de crecimiento oeste metropolitano.
Fuente: elaboración del autor.

Aspectos metodológicos

Creación de la base de datos en SIG

Para la realización de la cartografía de usos del suelo se han utilizado dos imágenes satelitales provenientes del satélite *Landsat 5* (sensor TM). Estas imágenes se obtuvieron del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (*USGS*, siglas en inglés). La fecha de adquisición de las imágenes corresponde a los meses de verano (diciembre-enero). Los procedimientos metodológicos para la elaboración de dicha cartografía se pueden sintetizar a partir de los siguientes puntos:

- a) *Pre-procesamiento de imágenes*: se aplicaron los modelos de corrección atmosférica para reducir los efectos de la atmósfera en las imágenes, a partir del cálculo de parámetros de calibración.
- b) *Análisis de interpretación visual*: se realizó la interpretación visual de las distintas imágenes para obtener una caracterización cualitativa de las distintas coberturas/usos del suelo en el área de estudio. El objetivo fue discriminar las coberturas y usos del suelo para definir las categorías de análisis.
- c) *Procesamiento digital de imágenes*: se realizó la clasificación digital de las imágenes para la elaboración de cartografía de los años 2000 y 2010. Esta tarea se apoya en el punto anterior, e implicó la identificación de regiones de interés a través de las cuales se procedió a la clasificación supervisada de imágenes.

- d) *Pos-procesamiento de imágenes*: consiste en evaluar la clasificación digital realizada en la fase de asignación. Además se incluyen los pasos de combinación de resultados parciales, producto del análisis visual y digital, para lograr la cartografía temática final.

Esta metodología ha permitido elaborar cartografía temática homogénea en formato *raster*, con un tamaño de píxel de 20x20 metros. De este modo, quedan definidas nueve clases en un solo nivel de jerarquización: 1) Infraestructura de transporte; 2) Cursos de agua; 3) Urbano disperso; 4) Urbano tradicional o compacto; 5) Forestal-Natural; 6) Ganadero; 7) Agrícola; 8) Hortícola-Intensivo; 9) Deportivo-Recreativo. A continuación se presentan los dos mapas elaborados para el año 2000 y 2010 (Figura 2).

Detección de cambios de usos del suelo

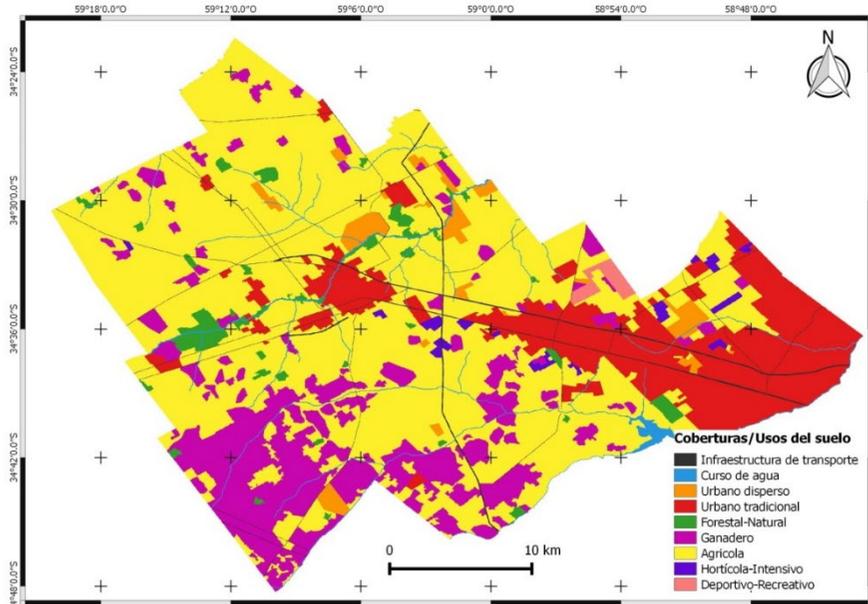
La aplicación se basa en la metodología de detección de cambios desarrollada por Pontius *et al.* (2004). Los procedimientos parten de la tabulación cruzada de dos mapas, lo que genera la denominada matriz de cambios (Tabla 1). La matriz se organiza en filas y columnas. En las primeras se encuentran representadas las categorías del mapa del corte temporal 1 (T1), y en las columnas están las categorías del segundo corte temporal (T2). En la diagonal de la matriz (señalada en gris) se encuentran representadas las superficies que han permanecido estables entre los dos cortes temporales, mientras que fuera de la matriz se encuentran las superficies de cada categoría que presentan transiciones a otras categorías desde tiempo 1 al tiempo 2. Las columnas Total T1 y Total T2 recogen la suma de cada categoría para cada año respectivamente. A ello se suma la columna referida a las pérdidas de superficie de cada categoría entre los dos cortes temporales, y la fila de las ganancias que cada categoría obtuvo en el periodo analizado.

Tabla 1
Matriz de tabulación cruzada (dos cortes temporales)-Detección de cambios

Categorías	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría n	Total T1	Pérdidas
Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{2n}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{3n}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría n	P_{n1}	P_{n2}	P_{n3}	P_{nn}	P_{n+}	$P_{n+} - P_{nn}$
Total T2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+n}	1	
Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+n} - P_{nn}$		

Fuente: elaboración del autor en base a Pontius *et al.* (2004).

A



B

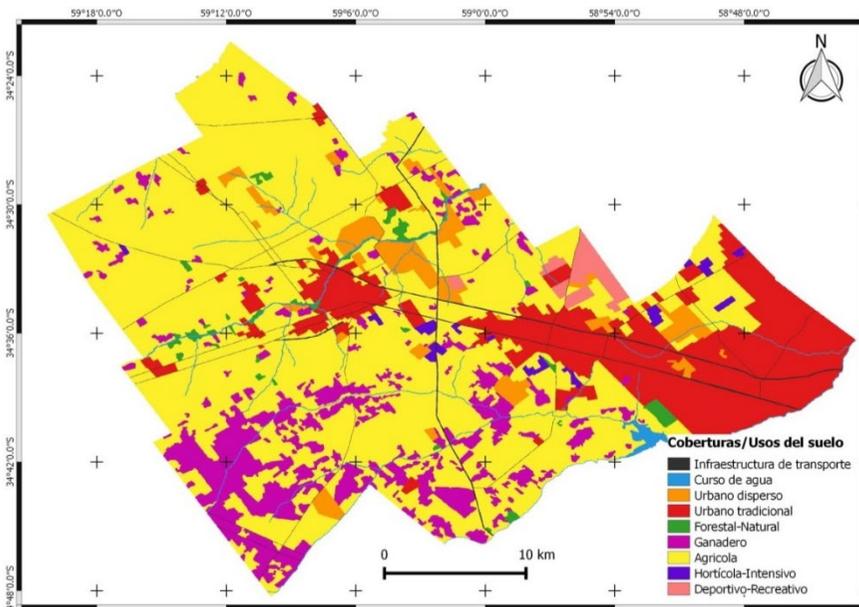


Figura 2. Mapa de usos del suelo para el año 2000 (A) y 2010 (B).
Fuente: elaboración del autor.

Indicadores de cambios de usos del suelo

A partir de la matriz de tabulación cruzada se calculan una serie de indicadores que permiten medir las ganancias, las pérdidas, el cambio neto y total, y los intercambios entre las distintas categorías de coberturas y usos del suelo definidas para el periodo de estudio (Plata Rocha *et al.*, 2009). A continuación se presentan las definiciones de estos parámetros:

- Ganancias: se obtienen a partir de la diferencia de la suma total del tiempo 2 (T2) y el valor de la diagonal correspondiente a cada categoría.
- Pérdidas: se obtienen a partir de la diferencia de la suma total del tiempo 1 (T1) y el valor de la diagonal correspondiente a cada categoría.
- Cambio neto: este valor se obtiene a partir de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría.
- Intercambio: se define como el doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas.
- Cambio total: es el resultado de la suma de las ganancias y las pérdidas.

Cartografía dinámica de usos del suelo

La cartografía dinámica es una herramienta de importancia para analizar los cambios en las configuraciones espaciales de usos del suelo en un periodo determinado. De este modo, es posible el descubrimiento de la evolución de los patrones de distribución espacial de cada categoría. Es así como los procedimientos de superposición temática se orientan a la definición de correspondencias espaciales desde un enfoque temporal. En este sentido, se procede al cruce de categorías de dos mapas de usos del suelo correspondiente a dos cortes temporales, dando como resultado la combinación de categorías que indican cambios y permanencias de usos del suelo.

Resultados

La metodología de detección de cambios ha sido estandarizada a partir del módulo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability*, que se encuentra como una aplicación vertical dentro del Sistema de Información Geográfica *IDRISI*, y se ocupa del estudio de los problemas de conversión acelerada de los usos del suelo con objetivos orientados a la conservación de la biodiversidad (Eastman, 2012). De esta manera es posible obtener resultados numéricos y cartográficos como insumos básicos para el análisis estadístico y espacial respectivamente, convirtiéndose en una propuesta metodológica de suma importancia a la hora de contar con un diagnóstico de la evolución espacial. En el presente trabajo, se realizó una primera aproximación con la finalidad de obtener resultados generales de cambios de usos del suelo.

Análisis espacial de los cambios de usos del suelo

La composición de coberturas/usos del suelo que se utiliza en la presente investigación puede clasificarse en tres grandes grupos de categorías: Superficies Artificiales (Urbano compacto, Urbano disperso y Deportivo-Recreativo), Superficies Productivas (Agrícola, Ganadero y Hortícola-Intensivo) y Superficies del Medio Natural (Cursos de agua y Forestal-Natural). Según los valores calculados para el año 2010, el área de estudio cuenta con una gran proporción de territorio destinado a las actividades primarias, entre las que podemos mencionar a la agricultura (con el 61.72 %) seguido de la ganadería (11.46 %), ocupando un poco más del 70 % de su territorio. Las superficies artificiales ocupan el 23.5 %, siendo aquella destinada a la urbanización tradicional la más significativa (16.78 %); por último se encuentran las coberturas que integran el Medio Natural con un 2.5 %. La Tabla 2 presenta los valores generales de la comparación entre los dos cortes temporales.

Tabla 2
Valores generales de cambios de usos del suelo (2000-2010)

<i>Categorías</i>	<i>2000 (ha)</i>	<i>2010 (ha)</i>	<i>% sobre total 2000</i>	<i>% sobre total 2010</i>	<i>2010-2000 (ha)</i>	<i>Incremento sobre 2000 (%)</i>
Infraestructura de transporte	1 809	1 809	1,4	1,4	0	0
Cursos de agua	2 083	2 083	1,6	1,6	0	0
Urbano disperso	3 003	5 464	2	4	2 461	82
Urbano compacto	21 326	22 228	16	17	901	4
Forestal-Natural	2 861	1 288	2	1	-1 573	-55
Ganadero	21 290	15 177	16	11	-6 113	-29
Agrícola	78 305	81 747	59	62	3 443	4
Hortícola-Intensivo	1 105	1 030	1	1	-76	-7
Deportivo-Recreativo	682	1 628	1	1	946	139

Fuente: elaboración del autor.

Un análisis comparativo con los datos del año 2000, señala que el uso Forestal-Natural fue el que mayor superficie ha perdido, presentando una disminución del 50%

con respecto al periodo anterior. El uso Ganadero es otra de las categorías que presenta una significativa disminución de su superficie (con una reducción del 29%). Por su parte, la superficie destinada al uso Hortícola-Intensivo disminuyó casi el 7%. Entre las categorías que mayores incrementos han tenido, se encuentra el uso Deportivo-Recreativo, con un aumento de su superficie de 139%; seguido del uso Urbano disperso (con un 82%). Las restantes categorías corresponden al uso Agrícola (4.4%) y Urbano tradicional o compacto (4.2%). Las categorías que no presentaron modificaciones en su superficie fueron Infraestructura de transporte y Cursos de agua.

A partir de un análisis general de la matriz de cambios (Tabla 3), podemos identificar las zonas estables, siendo aquellas que no han presentado cambios entre el año 2000 y 2010, y las zonas dinámicas, referidas a aquellas que han experimentado algún tipo de cambio (ganancias y/o pérdidas). Con una superficie total de 132 454 hectáreas, el área de estudio cuenta con una mayor proporción de su territorio que ha permanecido estable, representando una superficie del 85% (112 398 ha), siendo la superficie de las zonas dinámicas de un 15% (20 056 ha), dando como resultado una tasa de cambio global de 2 006 ha/año. El mapa de la Figura 3 presenta la distribución espacial de las superficies estables y dinámicas para el periodo 2000-2010.

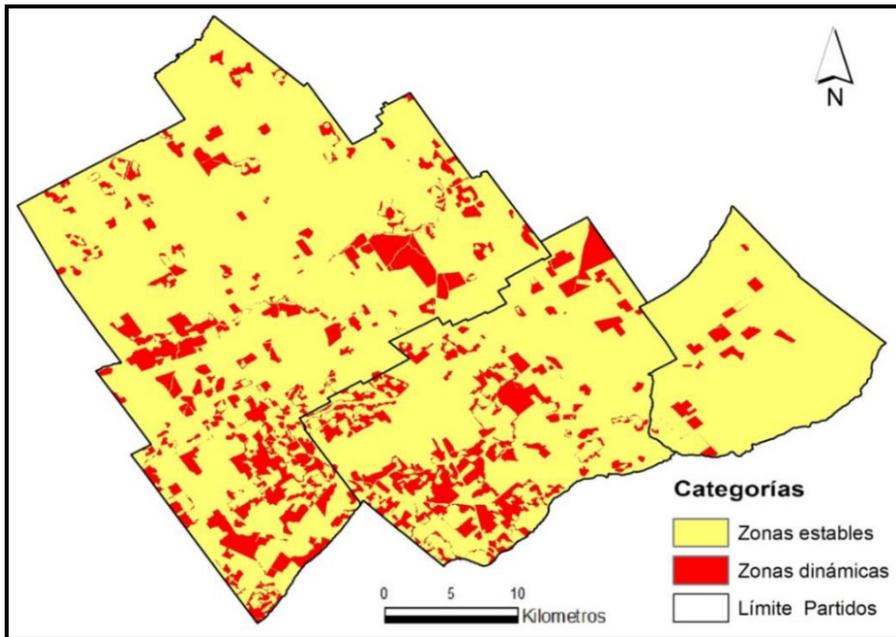


Figura 3. Superficies estables y dinámicas (2000-2010).
Fuente: elaboración del autor.

Un análisis más detallado de la información obtenida en dicha matriz, nos indica que las categorías que han ganado mayores superficies en valores absolutos son el uso Agrícola (11 283.2 ha), Ganadero (4 255.16 ha), y Urbano disperso (2 461.4 ha); seguido de Deportivo-Recreativo (946.04 ha), y Urbano compacto (903.16). Por otro lado, las categorías que han perdido mayores superficies en valores absolutos son el uso Ganadero (10 360.44 ha), Agrícola (7 839.32 ha), y en menor medida Forestal-Natural (1 712.24 ha).

Tabla 3
Matriz de cambios de usos del suelo en el periodo 2000-2010 (ha)

Categorías	Transp	Curs- agua	Urb- dis	Urb- com	Fores- Nat	Ganad	Agríc	Hort- Int	Dep- Recre	Suma T1	Pérdidas
Infraestructura de transporte	1809	0	0	0	0	0	0	0	0	1809	0
Cursos de agua	0	2083	0	0	0	0	0	0	0	2084	0
Urbano disperso	0	0	3003	0	0	0	0	0	0	3003	0
Urbano compacto	0	0	0,08	21324	0	0	2	0	0	21326	2
Forestal- Natural	0	0	76	3	1146	167	1465	1	0	2858	1712
Ganadero	0	0	352	29	14	10922	9745	0	220	21282	10360
Agrícola	0	0	2033	798	128	4088	70464	65	726	78303	7839
Hortícola- Intensivo	0	0	0	71	0	0	71	964	0	1105	141
Deportivo- Recreativo	0	0	0	0	0	0	0	0	682	682	0
Suma T2	1809	2083	5464	22227	1288	15177	81747	1030	1628	132454	20056
Ganancias	0	0	2461	903	141	4255	11283	66	946	20056	

Fuente: elaboración del autor.

La Figura 4 presenta las ganancias y las pérdidas experimentadas por las categorías en el periodo de estudio. Las ganancias se encuentran a la derecha del gráfico (color verde) con valores positivos, mientras que las pérdidas ocupan el lado izquierdo (color violeta), señalando con valores negativos la disminución de superficie.

Los indicadores de cambios se presentan en la Tabla 4. Los mismos han sido calculados a partir de la matriz de tabulación cruzada, y nos permiten cuantificar la superficie (expresada en hectáreas) de cambio de cada categoría, señalando aquellas que han obtenido ganancias y/o pérdidas, la contribución de cada una al cambio neto y total, y los intercambios entre la totalidad de categorías.

La información aportada sobre la relación entre las ganancias y las pérdidas de cada categoría puede expresarse a partir del cambio global, que se obtiene de la suma de ambos indicadores. Se desprende que la categoría Agrícola es la que mayores

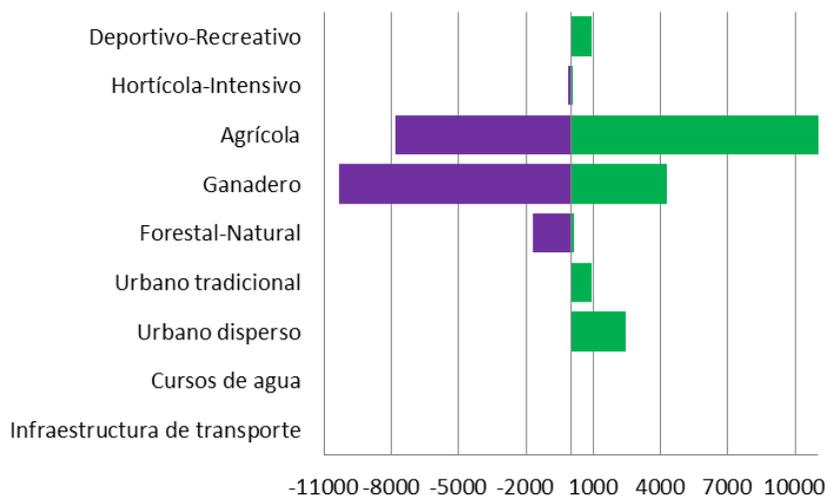


Figura 4. Ganancias y pérdidas de coberturas/ usos del suelo entre 2000 y 2010.

Fuente: elaboración del autor.

Tabla 4
Indicadores de cambios en el período 2000-2010 (ha)

Categorías	Sup. T1	Sup. T2	Ganancia	Persistencia	Pérdida	Cambio Neto	Cambio Total	Intercambio
Infraestructura de transporte	1809	1809	0	1809	0	0	0	0
Cursos de agua	2084	2083	0	2083	0	0	0	0
Urbano disperso	3003	5464	2461	3003	0	2461	2462	1
Urbano tradicional	21326	22227	903	21324	2	901	905	4
Forestal-Natural	2858	1288	141	1146	1712	-1571	1854	283
Ganadero	21282	15177	4255	10922	10360	-6105	14616	8510
Agrícola	78303	81747	11283	70464	7839	3444	19123	15679
Hortícola-Intensivo	1105	1030	66	964	141	-76	207	132
Deportivo-Recreativo	682	1628	946	682	0	946	946	0

Fuente: elaboración del autor.

cambios ha experimentado (19 122.52 ha), seguido del uso Ganadero (14 615.6 ha), Urbano disperso (2 461.84), y Forestal-Natural (1 853.64 ha). El resto de las categorías presentan valores inferiores a las 1 000 ha. A este análisis global se le puede introducir aquellos aportes (tanto positivos como negativos) generados a partir de la diferencia entre las ganancias y pérdidas, obteniéndose así el cambio neto de cada categoría.

Como muestra el gráfico de la Figura 5, los cambios netos positivos más significativos se dan en las categorías Agrícola (3 444 ha) y Urbano disperso (2 461 ha), seguido con valores inferiores por los usos Deportivo-Recreativo y Urbano compacto. Por otro lado, las categorías Ganadero (-6 106 ha), Forestal-Natural (-1 571 ha) y Hortícola-Intensivo (-76 ha), presentan cambios netos negativos. Las mismas han experimentado una mayor proporción de pérdidas con respecto a las ganancias que obtuvieron en el periodo analizado.

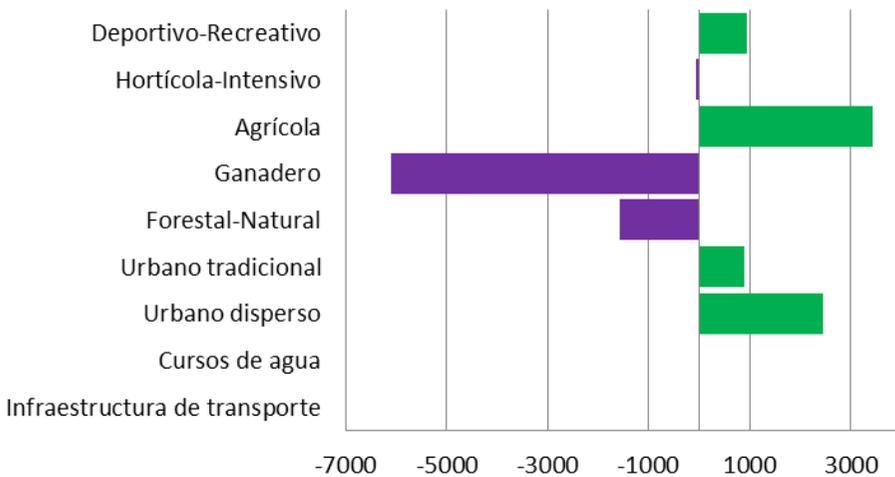


Figura 5. Cambio neto de usos del suelo entre 2000 y 2010.
Fuente: elaboración del autor.

La cartografía dinámica de los indicadores de cambios de usos del suelo nos permite avanzar en la descripción y análisis de los patrones de distribución espacial de cada categoría, destacando las superficies permanentes y aquellas que presentan mayor dinamismo a través del avance o retroceso de la superficie ocupada. La Figura 6 señala las superficies que han experimentado cambios desde el año 2000 al 2010.

La evolución espacial de la ocupación del suelo en el área de estudio se caracteriza por presentar tendencias de ocupación del suelo vinculadas a la interrelación del

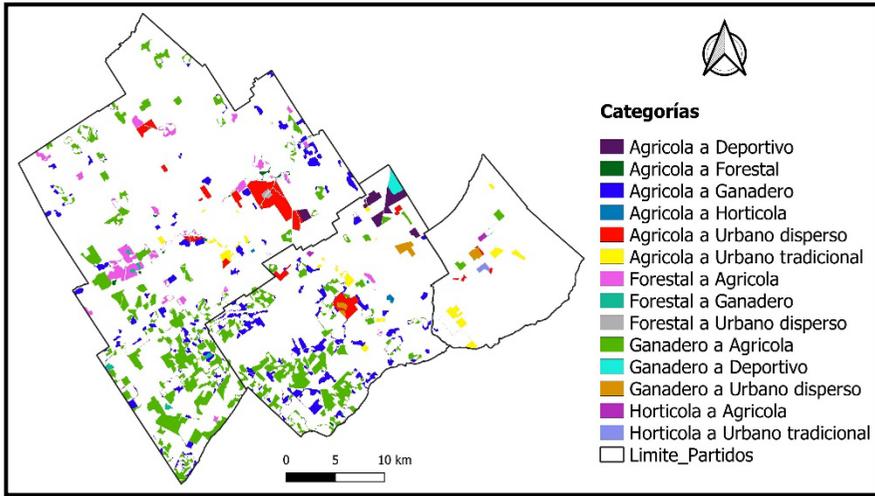


Figura 6: Cambios de usos del suelo entre 2000 y 2010.
Fuente: elaboración del autor.

espacio urbano y rural. En el primer caso, se ha dado un proceso de urbanización diferenciado a partir de la escala de actuación. Es así como se reconoce la expansión urbana en una escala local y regional, relacionada al crecimiento de las ciudades intermedias y a la dinámica generada por la aglomeración Gran Buenos Aires, respectivamente.

El uso Urbano presentó un incremento general de 3 362 ha. Los cambios experimentados por esta categoría se han dado bajo dos modalidades: la modalidad compacta con un aumento de 902 ha, que viene a extender las áreas urbanas preexistentes y la modalidad dispersa con un incremento de 2 461 ha, producto de 17 nuevas urbanizaciones cerradas, que se distribuyen, en su mayoría, en el partido de Luján. En el caso de la modalidad compacta, el avance se produjo sobre áreas antiguamente destinadas a la agricultura. En el partido de Moreno se puede observar el reemplazo de áreas destinadas a la producción hortícola. Al mismo tiempo, durante esta década, se ha observado el proceso de densificación de las áreas urbanas.

Por el otro lado, la modalidad dispersa fue la que experimentó los mayores cambios durante el período de estudio, siendo la más significativa en el proceso de urbanización del área de estudio. La expansión que se produjo sobre áreas destinadas a la producción agropecuaria y coberturas forestales consolida el patrón de ocupación que se experimenta, principalmente, desde la década anterior. Sumado a esto, el incremento de áreas destinadas al uso deportivo (946 ha), como la práctica de polo y golf,

en una zona de antigua dedicación agropecuaria, denota el cambio de funcionalidad de estas áreas periféricas, acrecentando su orientación residencial y de servicios.

La dinámica del espacio rural presenta la consolidación del proceso de agricultura en el área de estudio, siendo mayormente significativa en el partido de Luján seguido de General Rodríguez, donde la agricultura avanzó sobre áreas destinadas anteriormente a la ganadería. Si bien se produjo un notable intercambio de superficies entre estos dos usos del suelo, fue la agricultura la que obtuvo un cambio neto positivo. De esta manera, la actividad ganadera presenta una tendencia decreciente, con una pérdida neta de una superficie de 6 105 ha. El avance de la agricultura también se ha dado sobre coberturas naturales como bosque ribereño y monte implantado.

La actividad hortícola presenta una cierta estabilidad aunque con indicios de decrecimiento por el avance de la urbanización, lo que puede generar una localización más periférica de esta actividad productiva, principalmente en los partidos de General Rodríguez y Luján.

De este modo, se hace notar que el área de estudio ha experimentado notables cambios de usos del suelo, orientados principalmente por la expansión de urbanizaciones cerradas ligada a procesos de urbanización metropolitana y el avance de la agricultura sobre usos del suelo rurales como evidencia del proceso de agriculturización.

Conclusiones

El estudio de la dinámica de la ocupación del suelo mediante la incorporación de la dimensión temporal tiene como finalidad el descubrimiento de la variación espacio-temporal de los patrones de distribución espacial de las categorías de usos del suelo. El análisis y la modelización de estos cambios, posibilitado metodológicamente por el modelado cartográfico, aporta herramientas orientadas a la cuantificación de la magnitud y la distribución espacial de las categorías analizadas. De esta manera se procedió a la evaluación de los cambios a partir de insumos estadísticos y cartográficos, lo cual ha permitido realizar un análisis detallado de los cambios reales en la ocupación del suelo, especificando las superficies de ganancias, pérdidas, cambio neto y total, e intercambios.

En este sentido, cabe señalar la importancia de incorporar la metodología de detección de cambios en el estudio de la dinámica temporal en municipios que están sujetos a procesos de urbanización de gran dinamismo y aparición de conflictos ante cambios de usos del suelo. De este modo, la elaboración de cartografía temática a partir de técnicas de Teledetección y la aplicación metodológica mediante SIG permitieron la generación de conocimientos a un nivel espacial, en apoyo a la elaboración de un diagnóstico territorial de la evolución espacial de la ocupación del suelo, constituyéndose en una valiosa herramienta para el ordenamiento territorial a nivel urbano-regional.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo dan cuenta de la configuración socioespacial ligada al proceso de expansión metropolitana y los efectos generados sobre los espacios de la franja urbano-rural en los cuales avanza. La expansión urbana se encuentra relacionada al crecimiento de las ciudades intermedias y a la dinámica generada por la aglomeración Gran Buenos Aires, siendo la modalidad urbana dispersa la más significativa en el proceso de urbanización del área de estudio avanzando sobre áreas destinadas a la producción agropecuaria y coberturas forestales. A su vez se aprecia el incremento de áreas destinadas al uso deportivo-recreativo, que se encuentran asociadas a la existencia de urbanizaciones cerradas. Esto indica una clara tendencia de cambio de aquellas áreas antiguamente destinadas a las actividades agropecuarias por el uso residencial y de servicios.

Por otro lado, la dinámica del espacio rural evidencia un proceso de agriculturización que avanza sobre usos del suelo rurales, como la ganadería, y sobre coberturas del medio natural. Estos cambios detectados señalan el dinamismo que caracteriza a la ocupación del suelo en territorios de la periferia metropolitana.

Cabe concluir este trabajo señalando las líneas metodológicas que aportarán a la modelización del crecimiento urbano y cambios de usos del suelo en una investigación futura. Entre ellas, la aplicación de modelos de simulación de crecimiento urbano y cambios de usos del suelo basados en la técnica de Automatas Celulares, cuya finalidad es la de construir diferentes alternativas de configuraciones espaciales futuras (escenarios), destacando un claro enfoque prospectivo de la Geografía hacia un desarrollo territorial sostenible. Por su parte, las técnicas de evaluación multicriterio amplían las posibilidades de trabajo hacia la obtención de resultados como escenarios de posibilidades prospectivas. La combinación de los modelos de simulación y técnicas de evaluación multicriterio utilizando SIG, permitirá la modelización de configuraciones espaciales futuras. Los procedimientos metodológicos explicitados generan información de base para la realización del diagnóstico espacial y la formulación de propuestas, que utilizadas en el ámbito de la gestión, serán de suma utilidad en el desarrollo sostenible de los municipios del área de estudio.

Bibliografía

- Aguilera Ontiveros, A. (2002). *Ciudades como tableros de ajedrez. Introducción al modelado de dinámicas urbanas con autómatas celulares*, El Colegio de San Luis, San Luis Potosí.
- Aguilera Benavente, F.; Plata Rocha, W.; Bosque Sendra, J. y Gómez Delgado, M. (2009). "Diseño y simulación de escenarios de demanda de suelo urbano en ámbitos metropolitanos", *Revista Internacional Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, núm. 4, pp. 57-80.

- Arellano, B. y Roca, J. (2010). "El UrbanSprawl, ¿Un fenómeno de alcance planetario? Los ejemplos de México y España", *Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 4(12):115-147.
- Barsky, A. (2005). "El periurbano productivo, un espacio en constante transformación. Introducción al estado del debate, con referencias al caso de Buenos Aires", *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, núm. 194, p. 36.
- Borsdorf, A. (2003). "Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana", *EURE*, 29(86):37-49.
- Buzai, G.D. (ed.) (2010). *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y metodológicos*, Universidad Nacional de Luján, Luján.
- Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. (2006). *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*, Lugar Editorial, Buenos Aires.
- Buzai, G.D.; Lanzelotti, S.; Humacata, L.; Principi, N.; Acuña Suárez, G. y Baxendale, C.A. (2017). "Análisis espacial y evaluación de zonas de potenciales conflictos ambientales, productivos y patrimoniales ante la expansión urbana en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Aplicación: la expansión urbana de Luján y los potenciales conflictos entre usos del suelo", *Memorias XVI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*, Universidad del Azuay, Cuenca, pp. 245-252.
- Carter, H. (1983). *El estudio de la Geografía Urbana*, Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid.
- Chuvieco, E. (2007). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*, Ariel Ciencia, Barcelona.
- Eastman, R. (2012). *Guía IDRISI Selva. Land Change Modeler*, Clark Labs, Clark University, Worcester, USA.
- 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, Madrid.
- Henríquez Ruíz, C. (2014). *Modelando el crecimiento de las Ciudades Medias*, Ediciones UC, Santiago.
- Humacata, L. (2017). "Análisis espacial de los cambios de usos del suelo en partidos de interfase urbano-rural de la Región Metropolitana de Buenos Aires, en el periodo 2000-2010, mediante la aplicación de Tecnologías de la Información Geográfica", tesis de maestría en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul.
- INDEC (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010*, Instituto Nacional de Estadística y Censos, Buenos Aires.

- Lara, B. (2014). "Fragmentación de pastizales en el centro de la provincia de Buenos Aires mediante imágenes LANDSAT", tesis de maestría en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul.
- Janoschka, M. (2002). "El nuevo modelo de la ciudad latinoamericana: fragmentación y privatización", *EURE*, 28(85):11-20.
- Linares, S. (2015). "Aplicación de modelos de simulación de crecimiento urbano", en Buzai, G.D.; Cacace, G.; Humacata, L.; Lanzelotti, S.L. (comps.) (2015), *Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 1: Por una Geografía de lo real*, MCA Libros, Mercedes.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*, John Wiley and Sons, New York.
- Matteucci, S.; Morello, J.; Buzai, G.; Baxendale, C.; Silva, M.; Mendoza, N.; Pengue, W. y Rodriguez, A. (2006). *Crecimiento urbano y sus consecuencias sobre el entorno rural. El caso de la ecorregión pampeana*, Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires.
- Phlipponneau, M. (2001). *Geografía Aplicada*, Ariel, Barcelona.
- 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*, Universidad de Barcelona.
- Pontius, R.G.; Shusas, E. and McEachern, M. (2004). "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101: 251-268.
- Ramírez, L. y 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. Disponible en: <<https://revistageosig.wixsite.com/geosig>>.
- Santos Preciado, J.M.; Azcárate Luxán, M.V.; Cocero Matesanz, D.; García Lázaro, F.J. y Muruguza Cañas, C. (2012). "Análisis detallado del crecimiento urbano mediante Tecnologías de la Información Geográfica", en Gómez Delgado, M.; 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, Madrid.
- Stamp, L.D. (1981). *Geografía Aplicada*, EUDEBA, Buenos Aires.
- Tapiador, F.J. (2001). "El papel del geógrafo en las directrices de ordenación territorial", *Boletín de la AGE-Asociación de Geógrafos Españoles*, 31:137-147.