

INCIDENCIA DE LA ZONIFICACIÓN DEL TERRITORIO EN LOS FACTORES EXPLICATIVOS DEL CRECIMIENTO URBANO DE LA COMUNIDAD DE MADRID

*Wenseslao Plata Rocha, Montserrat Gómez Delgado y Joaquín Bosque
Sendra**

RESUMEN

Se presenta un análisis de los posibles factores explicativos del crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid durante el período 1990-2000, incluyendo la zonificación de la región en relación a las coronas metropolitanas en torno a la ciudad de Madrid. Se analizan las categorías estructura urbana laxa, urbanizaciones exentas y zonas industriales y comerciales establecidas en la cartografía de usos del suelo Corine Land Cover. Como factores explicativos del cambio se tomaron variables socioeconómicas, biofísicas, de planificación legal, políticas y de proximidad/accesibilidad, medidas en cada píxel del territorio. El análisis de la relación entre las variables explicativas y el crecimiento urbano se llevó a cabo a través de la regresión logística. Los resultados obtenidos del ajuste de los modelos mostró la relevancia de algunas variables en la explicación de la localización del crecimiento de las categorías urbanas analizadas.

Palabras Clave: crecimiento urbano, variables explicativas, regresión logística, Corine Land Cover, Madrid

* Escuela Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. wenseslao.plata@alu.uah.es.
Profesor titular del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares. Calle Colegios, N° 2.
Alcalá de Henares Madrid 28801, España. montserrat.gomez@uah.es.
Catedrático del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares. Calle Colegios, N° 2.
Alcalá de Henares Madrid 28801, España. joaquin.bosque@uah.es

Fecha recepción: 13 de enero del 2010
Fecha aprobación: 14 de mayo del 2010

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the possible explanatory factors of urban growth in Madrid, Spain during the period 1990-2000, including the zoning of the region in relation to the metropolitan area around the city. Specifically, two categories were analyzed: residential discontinuous urban and residential discontinuous sparse urban, and commercial and industrial of the *Corine Land Cover*. Previous analysis of *Corine Land Cover* land use change identified these categories as having the largest growth during the study period. Socio-economic, biophysical, legal planning, policies and proximity/accessibility variables were taken into account as explanatory factors of urban growth, at pixel level. Logistic regression was used to analyze the relationship between explanatory variables and urban growth. The results obtained from the model adjustments showed the relevance of some variables in explaining the location of urban growth in the categories analyzed.

Keyword: GIS, urban growth, explanatory factors, logistic regression, Corine Land Cover, Madrid, Spain

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de los factores que pueden ayudar a entender el rápido crecimiento de las zonas urbanas en todo el mundo es un tema de gran relevancia social y ambiental. En la Comunidad de Madrid (España) más de 30.000 has se han convertido en nuevas superficies artificiales entre 1990 y 2000, es decir cerca de un 50 % más de la superficie de ese tipo existente en 1990 (Plata, Gómez y Bosque, 2009). ¿Qué hechos y procesos pueden estar conectados con esta dinámica tan rápida?

Este crecimiento de las zonas artificiales (residenciales, industriales, comerciales) se ha producido en buena parte del territorio de la Comunidad, y en espacios cuyas características físicas o territoriales son muy distintas. En un trabajo anterior (Plata, Gómez y Bosque, 2008a) se había intentado determinar algunos factores que tuvieran una relación con este cambio, los resultados son útiles, pero no totalmente concluyentes; una posible causa de algunas de las debilidades de esta relación entre factores explicativos y crecimiento urbano en Madrid puede estar relacionada con las notables variaciones espaciales en el proceso de crecimiento urbano, por ello parece de utilidad repetir los análisis incluyendo ahora una zonificación del territorio madrileño.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es entender las causas de que unos puntos del territorio se urbanicen y otros no lo hagan, pero considerando la posible influencia de una zonificación del área de estudio que responde a ciertas características funcionales y socioeconómicas.

Históricamente el crecimiento de las ciudades había sido provocado por el crecimiento de la población. Sin embargo, en la actualidad, en lugares donde hay poca o ninguna presión demográfica, existen otra variedad de factores que influyen en el crecimiento de las ciudades. Al mismo tiempo el crecimiento urbano se ha acelerado en respuesta a la relación entre la mejoría en la red de transporte y la movilidad de la ciudadanía. Esto ha hecho posible vivir cada vez más lejos de la ciudad, reteniendo las ventajas de una posición de ciudad, o ha permitido a la gente vivir en una ciudad y trabajar en otra (EEA, 2006). Asimismo la composición de fuerzas incluye tendencias socioeconómicas tales como: los medios de transporte, el precio del suelo, tendencias demográficas, el atractivo de las áreas urbanas existentes y, no menos, la aplicación de políticas de planeamiento del uso del suelo a escalas locales y regionales. De este modo las evidencias sugieren que donde no se realiza un planeamiento del crecimiento, el desarrollo descentralizado dominará y el crecimiento urbano ocurrirá de un modo automático.

En este sentido, el análisis de los factores que interactúan con el crecimiento urbano proporcionará a los encargados de la planificación del territorio información de gran valor que debería utilizarse para la realización de políticas de urbanización congruentes, que tomen en cuenta la conservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

Por su parte, en este análisis se pretende obtener los factores que definen las pautas del crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid, aplicando técnicas estadísticas de análisis espacial y Sistemas de Información Geográfica, y una zonificación del área de estudio que nos permita determinar con más claridad los factores más influyentes en el crecimiento de las categorías urbanas analizadas.

2. ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS

2.1. Descripción del área de estudio

La Comunidad de Madrid se localiza en el centro de España y limita con las provincias de Guadalajara, Cuenca, Toledo, Ávila y Segovia (Figura 1). Se encuentra conformada por 179 municipios en una extensión territorial de 8.025 km² (INE, 2005). Su población estimada es de aproximadamente 6 millones de habitantes, gran parte de la cual se concentra en el área metropolitana, aunque a partir de la década de 1990 se evidenciaron

fuertes procesos de descentralización hacia algunos municipios del oeste, norte y sureste de la región.

Dichos procesos han provocado que la Comunidad de Madrid se consolide como uno de los territorios de mayor dinamismo del arco mediterráneo, con un crecimiento de las superficies artificiales aproximado del 48% durante la década de los 90, muy por encima del 25 % de crecimiento medio registrado en el territorio nacional y del 5,4% de la Unión Europea (EEA, 2006; OSE, 2006). En este sentido, las zonas urbanas han aumentado en 14.310 ha, de las cuales el 80% corresponde al tejido urbano discontinuo (se pueden diferenciar varias categorías de zonas urbanas: además del Tejido Urbano Continuo (TUC), la Estructura Urbana Laxa (EUL), las Urbanizaciones Exentas y/o Ajardinadas (UEA) y las Zonas Industriales y Comerciales (ZIC) cada una con diferentes porcentajes de crecimiento entre los años 1990 y 2000). Asimismo, López de Lucio (2003) señala que la región urbana de Madrid se transforma a una velocidad notable, configurándose un nuevo modelo territorial aquejado de serios problemas de sostenibilidad que han de ser corregidos mediante políticas públicas que reequilibren y redireccionen dichas dinámicas.

Por su parte, el sector industrial y comercial está caracterizado por una distribución espacial cada vez más extensa, dispersa y fragmentada, lo que conlleva a crecientes necesidades de transporte, tanto para los trabajadores y sobre todo para las mercancías (Gutiérrez Puebla, 2004; De Santiago, 2007). Esto a su vez también produjo una importante ampliación de la infraestructura de transporte, donde cabe mencionar que hacia el año 2000 la red vial alcanzaba aproximadamente 584 kilómetros de extensión mientras que la red de metro y ferrocarriles se acercaba a los 530 kilómetros, posicionándose como la segunda infraestructura de transporte más importante de la región (López de Lucio, 2003).

También se ha podido comprobar que factores como la accesibilidad a las zonas urbanas y a las carreteras, la densidad de población, la pendiente del terreno, la cercanía al centro de negocios de la Comunidad, entre otros son relevantes a la hora de intentar obtener las lógicas que han guiado el crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid en la década de los 90's (Plata, Gómez y Bosque, 2008a y 2008b).

Aún cuando esto ocasiona amenazas tanto de sostenibilidad ambiental como social, los análisis prospectivos realizados con datos del planea-

miento urbanístico indican que éstas tendencias continuarán en el futuro (Gutiérrez Puebla, 2004; Gutiérrez Puebla y García Palomares, 2005).

2.2. Zonificación del área de estudio

En estudios realizados con anterioridad (Plata, Gómez y Bosque, 2008a y 2008b) sobre los factores que han incidido en el crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid se ha obtenido una relación de algunas variables espaciales y dicho crecimiento. No obstante, la heterogeneidad del territorio en cuanto a cuestiones económicas, ambientales, sociales, urbanísticas, y otras, no permite detectar a ciertas variables que, en teoría han guiado las lógicas de dicho crecimiento, con un alto grado de significancia. Por ello, se vio la necesidad de utilizar una zonificación que permita obtener factores que puedan explicar el crecimiento de las zonas urbanas de forma clara y con mayor contundencia sobre ciertos sitios del territorio Madrileño. Al respecto se pueden decir que en la Comunidad de Madrid se ha realizado estudios sobre diferentes temáticas, tales como: calidad del aire, estudios estadísticos, análisis socio-territoriales, de transporte, entre otros; y aplicando diferentes zonificaciones de la Comunidad.

Dentro de las más conocidas está la delimitación por unidades territoriales (NUTS) aplicada para fines estadísticos; o, la utilizada por el consorcio regional de transporte de Madrid la cual, incluso, excede los límites de la Comunidad. No obstante estas zonificaciones no toman en cuenta la dinámica espacial del territorio.

Con respecto a delimitaciones hechas con la finalidad de entender los procesos relacionados con la dinámica territorial de la Comunidad se puede hacer mención de la zonificación que plantea López de Lucio (2003), que divide la región madrileña en 11 subsistemas territoriales o comarcas con una clara identidad geográfica-funcional. Esto supuso la agrupación de municipios de acuerdo con un conjunto de criterios, tales como: características geográficas de sus territorios, su perfil funcional, los tipos y formas edificatorias principales y las características socioeconómicas comunes.

Asimismo en el Atlas de la Comunidad de Madrid en el umbral del siglo XXI, elaborado por la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad, se plantea una división más genérica de la región configurada por coronas metropolitanas, espacios claramente

diferenciados por sus características funcionales y la condición socioeconómica de sus habitantes.

De este modo se optó por trabajar con dichas coronas metropolitanas, ya que éstas toman en cuenta la dinámica de los procesos de urbanización del espacio madrileño. Así, dichos procesos en el pasado se limitaban tan solo a la capital madrileña, apareciendo una nítida oposición entre la ciudad y el campo. Sin embargo, con los años dicho proceso desbordó esos límites configurando primero una pujante área metropolitana funcional y más recientemente una extensa corona periurbana en la que prácticamente se incluye en mayor o menor medida todo los núcleos no metropolitanos que hasta fechas recientes podían considerarse como rurales (García y Sanz, 2002).

La anterior zonificación permite diferenciar espacialmente las siguientes zonas:

Área metropolitana: formada por el municipio de Madrid y una corona metropolitana. Así, el Municipio de Madrid se distingue por dos zonas, la denominada Almendra Central y otra formada por la Periferia madrileña. En la Corona metropolitana se destacan cuatro zonas, generadas por el progresivo crecimiento que el área metropolitana funcional ha venido teniendo en los últimos decenios. De este modo se destacan al norte los municipios de Alcobendas, San Sebastián de los Reyes, Colmenar Viejo y Tres Cantos; al oeste se constituye por los municipios de Pozuelo de Alarcón, Majadahonda, Las Rozas, Boadilla del Monte, Villaviciosa de Odón, Villanueva de la Cañada, Villanueva del Pardillo y Brunete; la parte **sur** formada por los municipios de Alcorcón, Leganés, Getafe, Móstoles, Fuenlabrada, Parla y Pinto; y al **este** configurada por los municipios de Coslada, San Fernando de Henares, Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henares, Paracuellos de Jarama, Mejorada del Campo, Velilla de San Antonio y Rivas-Vaciamadrid.

Por otro lado, estarían los espacios no metropolitanos que comprenden el resto de municipios de la Comunidad de Madrid. En función del criterio de la distancia y la contigüidad espacial al área metropolitana funcional se ha distinguido entre una tercera, cuarta y quinta corona periurbana y el resto hasta el límite de la Comunidad.

Tomando como referencia dicha zonificación para estudiar la distribución del crecimiento urbano en la Comunidad, se observó que en la corona metropolitana donde se dan los mayores porcentajes de crecimiento para todas las categorías. No obstante, se puede verificar que las categorías Estructura Urbana Laxa (EUL) y Zonas Industriales y Comerciales (ZIC) muestran porcentajes considerables de crecimiento en el municipio de Madrid y en la Corona 3, mientras que la categoría Urbanizaciones Exentas y/o Ajardinadas (UEA) tiene una presencia importante en la corona 3, 4 y 5 (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentaje de crecimiento de las categorías artificiales por coronas.

Categoría	Municipio de Madrid	Corona Metropolitana	Corona 3	Corona 4	Corona 5	Resto CM	Total
EUL	22,95	46,65	19,66	3,40	4,89	2,45	100,00
UEA	5,09	36,12	24,52	19,38	11,79	3,10	100,00
ZIC	16,22	61,36	17,90	3,09	1,29	0,14	100,00

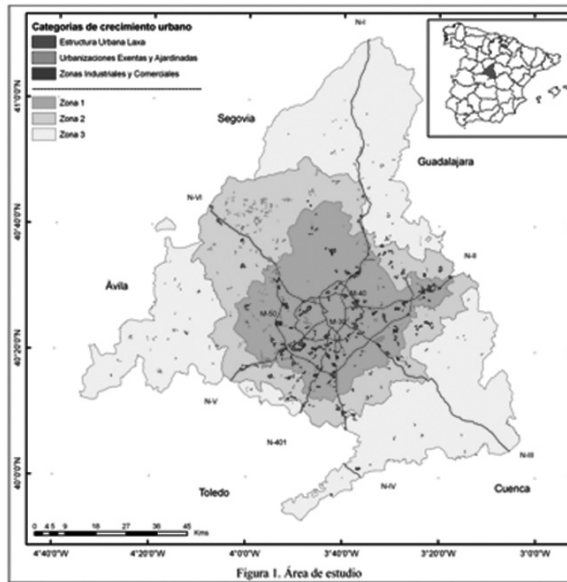
Fuente. Obtenido del Corine Land Cover 1990 y 2000 y de las coronas del Atlas de la Comunidad de Madrid en el umbral del siglo XXI

Con la finalidad de realizar un análisis práctico de los factores explicativos del crecimiento urbano de la Comunidad de Madrid a nivel de píxel, se propone agregar dichas regiones en tres zonas, por considerar que los municipios que en ellas se agrupan han experimentado un crecimiento urbano con similares características: la primera zona que comprende al área metropolitana, es decir, el Municipio de Madrid y la corona metropolitana; la segunda zona que corresponde a la tercera corona, y a la cual se anexan los municipios que colindan con la carretera Nacional VI (Cercedilla, Navacerrada, El Boalo, Los Molinos, Guadarrama, Collado Mediano, Alpedrete, Collado Villalba, San Lorenzo del Escorial y El Escorial); y la tercera zona que agrupa a la cuarta y quinta corona (a excepción de los municipios anexados a la segunda zona) y el resto de la Comunidad (Figura 1).

2.3. Datos. Análisis exploratorio de las variables disponibles

Las categorías artificiales que mayor crecimiento tuvieron en el período entre 1990 y 2000 en la Comunidad de Madrid son: las zonas urbanas (estructura urbana laxa y urbanizaciones exentas) y las zonas industriales y comerciales (Plata, Gómez y Bosque, 2009), que son tomadas en este estudio como variables dependientes (Figura 1 y Tabla 2).

Figura 1. Zonificación del área de estudio



Fuente: Corine Land Cover 1990 y 2000. Adaptado de las coronas del Atlas de la Comunidad de Madrid en el umbral del siglo XXI.

Por otro lado, para la selección de las variables ó factores explicativos del fenómeno de expansión urbana, se tomó en consideración la literatura existente sobre este tipo de análisis, la disponibilidad de información y estudios previos realizados a nivel de la Comunidad (Plata, Gómez y Bosque, 2008a y 2008b). De este modo, como variables explicativas, y tomando como referencia el año 1990, se utilizaron para este estudio las 18 variables (de tipo socioeconómico, político, de planificación/políticas, proximidad/accesibilidad y biofísico) que resultaron ser las más significativas en los estudios previos mencionados (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de las variables dependientes e independientes utilizadas en el ajuste del modelo. Todas las variables que miden crecimientos o cambios se refieren al periodo 1990-2000. Las variables que muestran un valor se refieren al año 1990.

Tipo de Variable	No.	Código de la variable	Descripción
Crecimiento de zonas artificiales	I	ZU	Crecimiento de la categoría estructura urbana laxa y urbanizaciones exentas y/o ajardinadas
	II	ZIC	Crecimiento de la categoría zonas industriales y comerciales
Socio económicas	1	DensPob	Densidad de población (1990)
	2	PIncrViv	Incremento de número de viviendas (%)
	3	PIncrRenBruta	Incremento de renta bruta (%)
Planificación/ Políticas	4	Purbaniza	Porcentaje de superficie urbanizable
	5	Pcom	Porcentaje de suelo no urbanizable común
	6	PVotoIzq	Porcentaje de votos de izquierda
Proximidad/ Accesibilidad	7	Dist_Car	Distancia a Carreteras
	8	Dist_ZIC	Distancia a grandes superficies comerciales
	9	Dist_CentNeg	Distancia al CBD de Madrid
	10	Dist_Hid	Distancia a hidrografía
	11	DistUrb1990	Distancia a zonas urbanas en 1990
	12	Dist_Hosp	Distancia a hospitales
	13	Dist_Univ	Distancia a universidades
	14	Dist_NoDesea	Distancia a instalaciones no deseables
	15	Dist_EspNat	Distancia a espacios naturales
Biofísicas	16	OriSur	Píxeles con orientación Sur-suroeste
	17	Pendiente	Pendiente del terreno
	18	Altitud	Altitud del terreno

De la zonificación realizada para el análisis (Figura 1), se pudo observar que los mayores porcentajes de crecimiento urbano se dieron en el área metropolitana (Zona 1), mientras que para las otras dos zonas se observaron porcentajes menores. Es de señalarse, que la categoría Urbanizaciones Exentas y Ajardinadas (UEA) tuvo un porcentaje de crecimiento alto en la Zona 3, principalmente, por el importante desarrollo de segundas residencias en la sierra madrileña (Tabla 3).

Tabla 3. Crecimiento de las categorías artificiales en las distintas zonas de estudio

Categoría	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Total
EUL	69,60	19,66	10,74	100,00
UEA	41,21	24,52	34,27	100,00
ZIC	77,58	17,90	4,52	100,00

Por otro lado, los datos de la tabla 4 arrojan que el área metropolitana de Madrid (Zona 1) es la que presenta mayor presión demográfica, con un promedio de 2.354 hab/Km² en 1990, donde el municipio de Madrid alcanzó hasta los 5.000 hab/Km², aproximadamente. Asimismo, el mayor porcentaje de incremento de la vivienda se encuentra en la tercera corona (Zona 2), seguidos por el área metropolitana (Zona 1) y la zona 3. También se observó que el incremento de la renta bruta se distribuye de manera regular en la zona 2 y 3 con porcentajes entre 44 y 47 %; no obstante, en la zona 3 la renta bruta es menor (38 %), pero con una mayor variabilidad entre los municipio (SD = 10 %).

Tabla 4. Datos sobre algunas variables socioeconómicas para las distintas zonas de estudio

Zonas	Densidad de población		Incremento de vivienda		Incremento de la renta bruta	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
1	2354,20	2108,21	45,53	53,73	44,71	5,96
2	105,28	136,91	84,61	57,34	47,51	6,30
3	43,63	95,98	45,99	44,73	38,55	10,01

Fuente. Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid

En lo referente a la planificación del territorio se observó que las dos variables disponibles revelan que la zona metropolitana es la que cuenta con mayor superficie urbanizable, mientras que las zonas 2 y 3 son las que presentan mayores superficies de suelo no urbanizable, quizás debido a las figuras de protección de las áreas naturales. Asimismo, los mayores porcentajes de votos a partidos políticos de izquierda se encuentran en los

municipios localizados en la zona 1 (ya que hay mayor población en los municipios de dicha corona) seguidos de la zona 2 y 3 (Tabla 5).

Tabla 5. Datos sobre algunas variables de planeamiento en las distintas zonas de estudio

Zonas	Porcentaje de votos de izquierda		Superficie Urbanizable		Superficie No Urbanizable	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
1	45,7	13,2	8,87	9,87	25,90	15,33
2	38,3	16,3	2,32	2,62	45,62	32,90
3	35,0	21,1	0,83	1,85	51,06	34,06

Fuente. Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid y de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio.

A su vez, las variables de proximidad nos dan una idea sobre la accesibilidad que tiene en promedio cada zona (Tabla 6 y 7). En este sentido se puede observar que las tres zonas poseen una accesibilidad a las carreteras y una cercanía a la red hidrográfica muy similar, no excediendo una media de 1.200 metros. En cuanto a la accesibilidad a las zonas urbanas se puede decir que: la zona 3, de carácter más rural, posee una accesibilidad menor; mientras que la zona metropolitana posee una mayor accesibilidad a las zonas urbanas con una distancia promedio no mayor a los 1.200 metros, seguida de la zona 2.

Tabla 6. Variables de proximidad a infraestructuras

Zonas	Distancia a carreteras		Distancia a ZIC		Distancia a zonas urbanas	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
1	1.181,26	1.194,33	3.739,41	3.434,62	1.119,37	1.141,62
2	1.177,61	1.062,84	8.170,17	5.360,65	1.533,73	1.190,06
3	1.059,32	935,26	17.117,59	11.338,14	2.199,15	1.536,65

Fuente. Elaboración propia a partir de datos del *Corine Land Cover* 1990 y 2000 y del Centro Nacional de Información Geográfica, España.

Todas las zonas se encuentran distribuidas de manera concéntrica al centro de negocios de Madrid, por lo cual dicha accesibilidad disminuye desde la zona 1 hasta la zona 3, siendo la primera la de mayor accesibilidad y la última la de menor accesibilidad (Tabla 7).

Tabla 7. Variables de proximidad

Zonas	Distancia a CBD				Distancia a hidrografía	
	Min	Max	Media	SD	Media	SD
1	0,00	37.410,83	17.471,89	7.148,67	1.153,70	1.106,64
2	17.305,06	52.016,46	32.928,07	7.400,41	973,76	838,47
3	24.684,26	84.189,13	49.008,30	12.326,63	1.054,99	869,27

Fuente. Obtenido a partir de datos del Centro Nacional de Información Geográfica, España.

Respecto a las variables biofísicas, se puede decir que las zonas 2 y 3 se encuentran en altitudes y pendientes medias similares, mientras que la zona 1 se ubica en la parte más llana de la Comunidad, con una altitud media no mayor a los 665 metros y una pendiente media no mayor al 2,20 %. Por su parte, se observa que en cuanto a la orientación del terreno es la zona 1 la que presenta una orientación menos idónea para el desarrollo de urbanizaciones, mientras que la zona 2 y 3 presentan orientaciones del terreno similar y más ideal para las urbanizaciones en nuestras latitudes, orientación sur-suroeste (Tabla 8).

Tabla 8. Variables biofísicas

Zonas	Orientación		Altitud		Pendiente	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
1	97,6	107,0	664,52	81,37	2,18	2,96
2	132,6	108,7	857,28	293,90	5,19	6,43
3	141,9	110,0	873,23	331,64	6,38	6,73

En cuanto a la accesibilidad a los servicios (universidades y hospitales) se observa que la zona 1 tiene una mejor accesibilidad, disminuyendo gradualmente hasta la zona 3. En lo que respecta a las instalaciones no

deseables, éstas se encuentran a una distancia media menor en la zona 1 y aumentan proporcionalmente hasta la zona 3. No obstante, para la proximidad a los espacios naturales se pudo observar que estos tienen las menores distancias, siendo muy semejantes en la zona 1 y 2 y aumentando hasta el doble para la zona 3 (Tabla 9).

Tabla 9. Variables biofísicas

Zonas	Distancia a hospitales		Distancia a universidades		Distancia a instalaciones no deseables		Distancia a espacios naturales	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD	Media	SD
1	9.132,32	5.049,61	7.822,56	4.489,51	6.109,56	5.499,359	8.165,77	6.254,92
2	13.885,58	6.640,93	20.792,11	8.619,06	14.534,12	10.192,95	8.564,42	8.140,778
3	30.325,29	14.546,12	36.022,45	12.515,55	17.279,59	16.109,79	16.400,97	9.770,59

2.4. Análisis estadístico de la media de las variables por zona

Con la finalidad de tener certidumbre en la elección de las zonas elegidas, se realizó un análisis estadístico del conjunto de variables disponibles que nos permitiera determinar si dichas variables se comportan de manera significativamente diferente en cada zona. Para ello se utilizó una prueba *t* de *Student* para dos muestras, con un grado de confianza del 95 % ($\alpha=0,05$).

Los resultados obtenidos nos llevan a la conclusión de que existen evidencias estadísticas para confirmar que las zonas poseen un comportamiento diferente en cuanto a la variación espacial de sus variables. La comparación de las medias de las variables por zonas nos arrojan *P-valores* $< 0,05$, excepto para la variable orientación del terreno que se comporta de forma similar en la zona 2 y 3 ($P = 0,96$). También de la figura 2 se puede observar los valores medios de las variables utilizadas en el presente trabajo, y sus variaciones, en bastantes casos muy importantes, entre las tres zonas de Madrid.

Figura 2. Comparación gráfica de los valores medios de las variables por zona

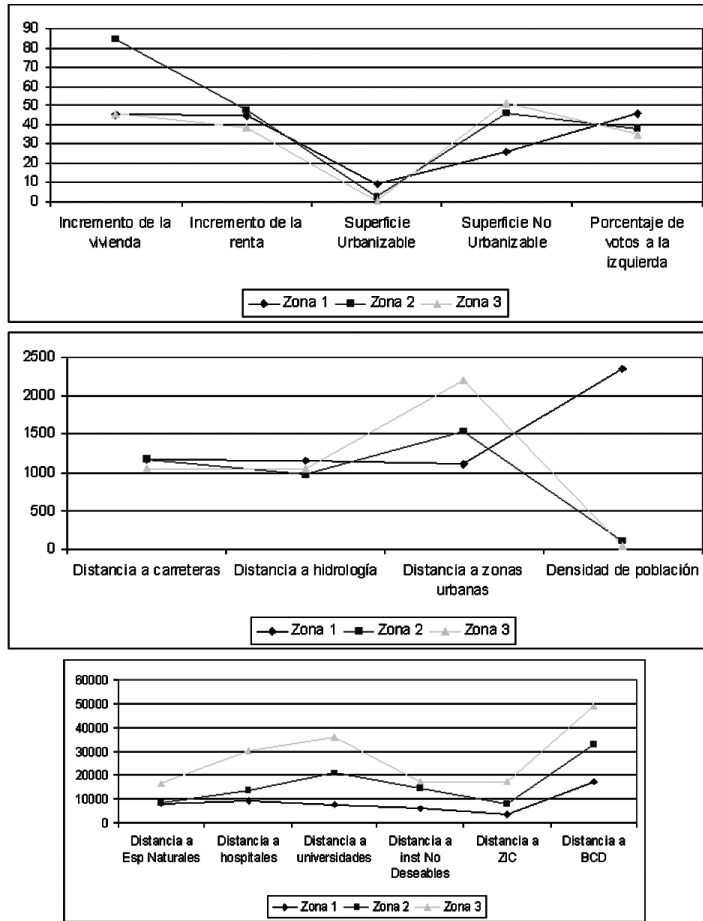


Figura 2. Comparación gráfica de los valores medios de las variables por zona

Visto los resultados pasaremos a hacer un análisis para establecer el poder explicativo que dichas variables tienen sobre el crecimiento de las zonas urbanas, comerciales e industriales.

3. METODOLOGÍA. REGRESIÓN LOGÍSTICA ESPACIAL

Como método de análisis estadístico para determinar las lógicas que guiaron el crecimiento urbano de la Comunidad de Madrid se utilizó la regresión logística (Conway, 2005; Cheng y Masser, 2003; Hu y Lo, 2007). Dicha metodología se establece en base con la siguiente ecuación:

$$\log \left[\frac{Y = 1}{Y = 0} \right] = \frac{P}{1 - P} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$$

Donde: β son los parámetros estimados por el modelo; x_1, x_2, \dots, x_k son las variables explicativas incluidas en el modelo; y P es la probabilidad de que un píxel se transforme a urbano.

Una vez recopiladas todas las variables independientes se realizó un análisis de correlación, omitiendo aquellas que presentaban correlaciones bivariadas mayores de 0,80 (Cheng y Masser, 2003; Bocco, Mendoza y Masera, 2000).

Por otro lado, para disminuir posibles problemas de autocorrelación y dependencia espacial, los modelos se ajustaron tomando una muestra (Hu y Lo, 2007; Verburg et al, 2004; Cheng y Masser, 2003; Conway, 2005). Dicha muestra se diseñó de tal forma que, el total de píxeles de crecimiento urbano (valores de 1) y de píxeles de no crecimiento urbano (valores de 0) fueran aproximadamente iguales (Cheng y Masser, 2003). Se excluyeron del análisis las superficies artificiales, los ríos, embalses y lagos existentes en 1990.

De este modo, se ajustaron 2 modelos de regresión logística espacial para cada zona utilizando en ellos todo el conjunto de variables seleccionadas. En total fueron 6 los modelos ajustados. La validación de los modelos se llevó a cabo con el estadístico *ROC* (Pontius y Schneider, 2001; Pontius y Batchu, 2003) y a través del porcentaje de píxeles clasificados correctamente (*PPCC1*).

4. RESULTADOS

De la tabla 10 se puede observar que los ajustes de los modelos son relativamente buenos oscilando los valores del *ROC* entre 0,89 y 0,95 y el *PPCC1* entre 66 y 94 %.

En primer lugar, si se tienen en cuenta a los coeficientes estandarizados obtenidos en el ajuste de los modelos podemos observar que al menos se obtienen 6 variables relevantes en la explicación de dicho crecimiento para cada zona.

Dentro de dichas variables se pudo observar, en general para las 3 zonas, que existe una correlación negativa entre el crecimiento urbano y la proximidad con: las zonas urbanas, los hospitales, al centro de negocios de la Comunidad y a las carreteras. Esto revela la importancia de la accesibilidad a la hora de proyectar nuevos desarrollos urbanísticos. Lo contrario se observa solamente para la proximidad a universidades, debido, principalmente, a la localización de las grandes universidades en el año 1990.

Deteniéndonos en el análisis por zona, observamos que la distancia a instalaciones no deseables presenta una correlación considerable de forma negativa en la zona 2, mientras que para la zona 1 se presenta de forma positiva, aunque en menor medida.

Asimismo, en la zona 3 se observa como el desarrollo de las zonas urbanas se presenta en mayor medida en terrenos con pendientes suaves y altitudes considerables. También se puede mencionar que en dicha zona la proximidad a las zonas industriales y comerciales presenta una relación positiva con el crecimiento urbano. Este resultado quizás se dé por la ubicación de las segundas residencias en la sierra norte de Madrid, en terrenos llanos, en zonas altas y lejos de las grandes zonas industriales y comerciales, tratando de buscar el *relax* que puede ofrecer las zonas rurales, sin olvidar las cuestiones de accesibilidad, como se mencionó anteriormente.

De la misma forma se encuentra correlacionada la proximidad a la red hidrográfica con el crecimiento de las zonas urbanas en la zona 1, mientras que en la zona 2 y 3 se produce lo contrario, aunque con menor influencia.

A su vez, las zonas industriales y comerciales, en general para las 3 zonas, presentan una correlación negativa con variables, tales como: la distancia a las carreteras, la distancia a las zonas urbanas, la pendiente y la distancia al centro de negocios de la Comunidad. También otras variables se manifiestan del mismo modo, pero solamente para la zona 2 y 3, tales como: el porcentaje de suelo no urbanizable común, la distancia a hospitales, la proximidad a las instalaciones no deseables y la altitud del terreno. En la zona 3 se observa cómo la distancia a universidades presenta una correlación alta positiva con el desarrollo de las zonas industriales

y comerciales. Lo anterior nos revela, en parte, como la maximización del beneficio económico para los empresarios es uno de los principales aspectos a tomar en cuenta a la hora de ubicar nuevas zonas industriales y comerciales.

Tabla 10. Resultado del ajuste de los modelos de regresión logístico

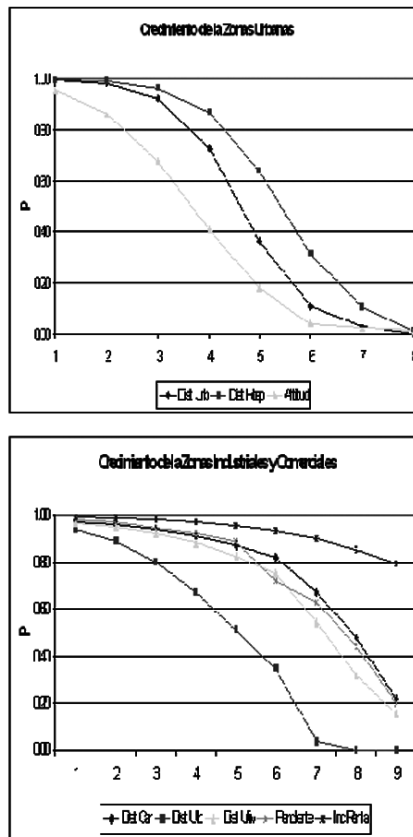
Variables	Zonas Urbanas			Zonas Industriales y Comerciales		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Intercepto	8,66	5,89	1,41	4,80	9,88	6,86
DENSPOB	-0,10	-0,05	0,05	-0,05	0,12	0,12
INCVIV	0,12	0,05	0,01	0,03	-0,06	0,10
INCRENT	-0,02	-0,03	0,05	-0,08	0,04	-0,07
URBANIZABLE	0,03	0,10	0,02	-0,01	0,02	0,00
URBCOM	0,04	-0,11	0,07	0,04	-0,16	-0,25
PVOTOIZQ	0,04	0,00	-0,04	-0,02	-0,04	0,01
Dist_car	-0,12	-0,33	-0,29	-0,20	-0,56	-0,66
DIST_ZIC	-0,06	0,12	0,17	-0,18	0,06	-0,43
Dist_sol	-0,18	-0,23	-0,21	-0,07	-0,23	-0,29
DIST_HIDROL	0,17	-0,07	-0,05	0,08	0,05	0,00
DIST_URB1990	-0,66	-0,56	-0,90	-0,31	-0,08	-0,20
DIST_HOSP90	-0,40	-0,18	-0,05	0,08	-0,27	-0,35
DIST_UNIVER90	0,35	0,39	0,09	-0,10	0,13	0,52
Dist_nodeseables	0,14	-0,35	-0,11	0,06	-0,38	-0,35
Dist_Nat1990	-0,10	0,03	0,05	0,05	-0,05	0,03
Ori_Sur	0,01	-0,07	-0,03	0,03	-0,08	-0,03
PENDI	0,01	-0,06	-0,20	-0,05	-0,43	-0,30
ALTURAS	-0,10	0,10	0,19	0,02	-0,27	-0,37
ROC	0,89	0,91	0,93	0,91	0,91	0,95
PPCC1	93,65	90,28	79,91	80,39	80,39	66,67

Auxiliándonos de la gráfica de probabilidad (Figura 3), se puede observar cómo algunas variables muestran un comportamiento claro, en cuanto a su influencia en el cambio de las categorías analizadas.

Específicamente para la zona 1 se observa cómo a medida que aumenta la distancia a las zonas urbanas y a los hospitales, así como la altitud del terreno, la probabilidad de que un píxel pase a urbano disminuye. Del mismo modo ocurre para las zonas industriales y comerciales, donde se

observa que a mayor aumento de la distancia a: carreteras, zonas urbanas, universidades; y con el aumento de la pendiente del terreno y de la renta bruta decrece la posibilidad de que proliferen dichas superficies artificiales (Figura 3).

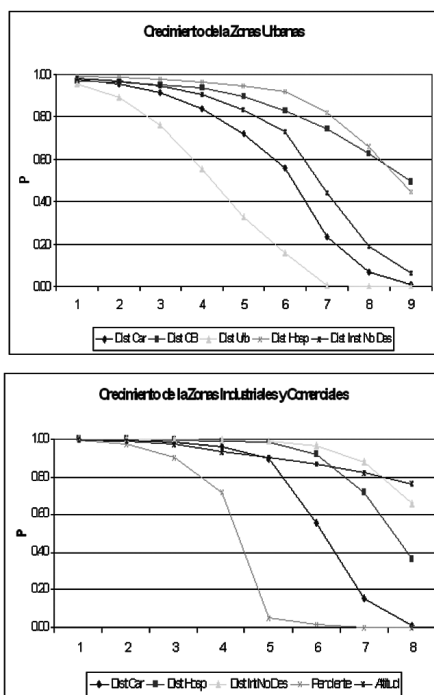
Figura 3. Probabilidad de desarrollo de zonas urbanas, industriales y comerciales en la Zona 1



Del mismo modo se observa que en la zona 2 las probabilidades de que aparezcan nuevas zonas urbanas disminuye con el aumento de la distancia con: las carreteras, al centro de negocios, zonas urbanas, hospitales e instalaciones no deseables. Asimismo, en el caso de las zonas industriales y comerciales con el aumento de la distancia a las carreteras, a hospita-

les, a instalaciones no deseables, de la pendiente y la altitud disminuye la ocurrencia de dichas superficies (Figura 4).

Figura 4. Probabilidad de desarrollo de zonas urbanas, industriales y comerciales en la Zona 2



No obstante, en la zona 3 ocurren procesos diferentes a los observados en las otras zonas (Figura 5). En primer lugar, se observa un comportamiento en las variables espacializadas a nivel de municipio, en el que se puede apreciar que con el aumento de la densidad de población, del incremento de la renta y las viviendas aumenta la probabilidad del desarrollo urbano. En el caso del porcentaje de superficie no urbanizable común ocurre lo contrario a lo esperado, es decir, era de esperarse que a mayor superficie no urbanizable por municipio menor probabilidad de que el territorio se urbanice. No obstante, como se observa de la gráfica, los resultados dan indicios de que en esta zona la probabilidad aumenta conforme aumenta el porcentaje de superficie no urbanizable. Otro dato interesante

es el comportamiento que presenta la variable porcentaje de votos a los partidos de izquierda, en el cual se observa que a mayor porcentaje de votos disminuye la probabilidad de que se urbanice el territorio (Figura 5a).

También existen un conjunto de variables que se correlacionan de forma negativa con el crecimiento urbano en esta zona, tales como: la distancia a carreteras, a zonas urbanas, a las instalaciones no deseables, al centro de negocios, a la red hidrográfica y también con la pendiente del terreno (Figura 5b).

Asimismo se presenta variables con correlaciones positivas con el crecimiento urbano, tales como: la distancia a espacios naturales y a las universidades (Figura 5c).

En el caso de las zonas industriales y comerciales se pudo observar que en esta zona solo las variables distancia a carreteras, distancia al centro de negocios y la pendiente tienen una influencia relevante con la proliferación de dichas categorías (Figura 5d).

Figura 5a. Desarrollo de zonas urbanas tomando las variables a nivel municipal

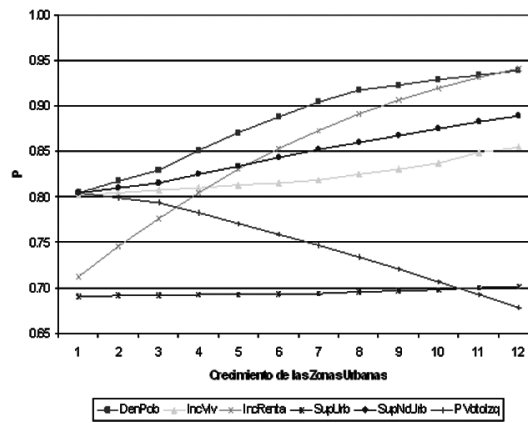


Figura 5b. Variables correlacionada de forma negativa con el crecimiento urbano

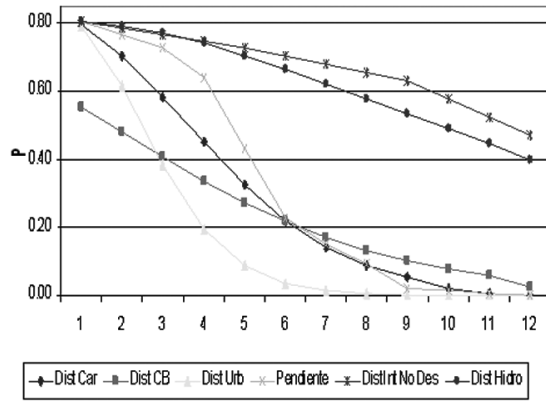


Figura 5c. Variables correlacionada de forma positiva con el crecimiento urbano

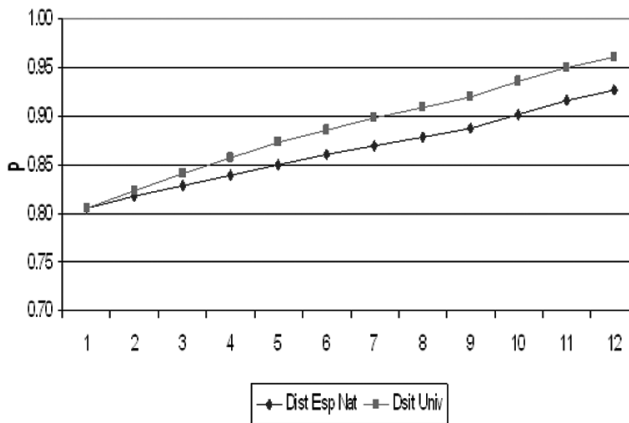
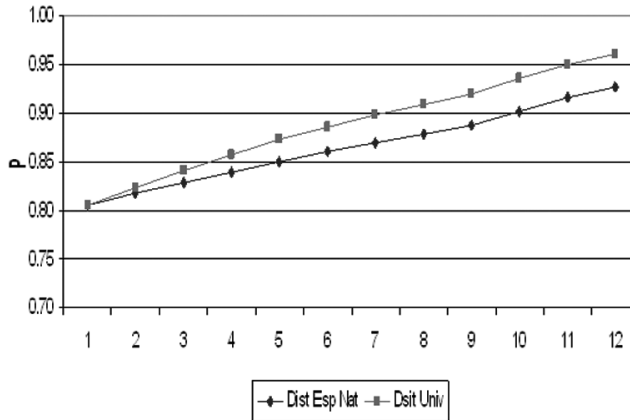


Figura 5. Probabilidad de crecimiento de las categorías analizadas para la Zona 3



5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Retomando el antecedente de los resultados obtenidos en el trabajo de Plata, Gómez y Bosque (2008 a y b) se puede aseverar que, en general, los resultados obtenidos son similares. Esto es debido a que variables como la proximidad a zonas urbanas, carreteras, al centro de negocios, la pendiente y altitud del terreno siguen teniendo un peso importante en la localización de dichas categorías. No obstante, en dicho trabajo se observaba como las variables espacializadas a nivel municipal respondían a unas lógicas para todo el territorio en general (Plata, Gómez, y Bosque, 2008b), y aquí si bien en la zona 2 y 3 se sigue observando una lógica similar, en la zona 3 su comportamiento es un tanto diferente, ya que la variabilidad de la información es menor (ver tabla 10, intercepto = 1,41). Asimismo, se pudo observar que las variables utilizadas tienen pesos diferentes para las zonas estudiadas e incluso, en algunos casos, signos opuestos.

También se puede señalar que la Comunidad de Madrid en los últimos 15 años ha estado inmersa en una vertiginosa dinámica espacial de sus usos del suelo, en particular, debido al crecimiento urbano, y en donde las lógicas que los han guiado han sido muy diversas e incluso algunas inmedibles, como la especulación, lo cual hace que, en principio, los factores que deben explicar el crecimiento urbano no respondan, en

algunas ocasiones, a lo esperado, aún cuando se trabajó con zonas definidas tomando en cuenta la dinámica de los procesos de urbanización del espacio madrileño.

Por último, se puede señalar que el uso de las técnicas estadísticas de análisis espacial implementadas en los Sistemas de Información Geográfica son una potente herramienta para el análisis del crecimiento urbano, ya que éstas permiten relacionar algunos factores espaciales que pudiesen haber incidido con dicho crecimiento. Además, por medio de su aplicación es posible extraer inferencias y/o predicciones, así como modelar diferentes alternativas de crecimiento urbano futuro.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Bocco, G., Mendoza, M., Masera, O. (2000). "La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 44: 18-38.
- Cheng, J., & Masser, I. (2003). "Urban growth pattern modelling: a case study of Wuhan city, PR China". *Landscape and Urban Planning*, 62: 199-217.
- Conway, M. (2005). "Current and future patterns of land-use change in the coastal zone of New Jersey". *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32, 877-893.
- De Santiago, R. E. (2007). "Madrid, ciudad única. Pautas y lógicas espaciales recientes en la región madrileña: las grandes transformaciones estructurales; el despliegue del nuevo paradigma único en la región urbana de Madrid". *Urban*, 12, 8-33
- European Environment Agency (2006). *Urban sprawl in Europe, the ignored challenge*. EEA Report No. 10/2006.
- García, A. & Sanz, B. (2002). *Atlas de la Comunidad de Madrid en el umbral del siglo XXI. Imagen socioeconómica de una región receptora de inmigrantes*. Editorial Complutense, S.A. España.
- Gutiérrez P., J., (2004). "Producción de suelo industrial en la Comunidad de Madrid". *Anales de Geografía*, 24, 169-192.
- Gutiérrez P., J. & García P., J. C., (2005). "Cambios en la movilidad en el área metropolitana de Madrid: el creciente uso del transporte privado". *Anales de Geografía*, 25, 331-351.

- Hu, Z., & Lo, P., (2007). "Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression". *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, 667-688.
- Instituto Nacional de Estadística (2005). Demografía y población. <http://www.ine.es/inebase/>, (última consulta: 26/03/2009).
- López de Lucio, R. (2003). Transformaciones territoriales recientes en la región urbana de Madrid. *Urban*, 8, 124-161.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España (2006). *Cambios de ocupación del suelo en España, implicaciones para la sostenibilidad*, Observatorio para la Sostenibilidad en España, Alcalá de Henares, Madrid, impreso por Artes Gráficas Cuestas S. A.
- Plata, W., Gómez, M., Bosque, J. (2008a). "Análisis de factores explicativos del crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid a través de métodos estadísticos y SIG". *XIII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*, pp. 121-134.
- Plata, W., Gómez, M., Bosque, J. (2008b). "Análisis de factores explicativos del crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid a través de métodos estadísticos (RLO y MLA) y SIG". *Revista de Planeamiento Territorial y Urbanismo Iberoamericana*, [http://www.planeamiento-urbanismo.com/articulos/21/analisis-de-factores-explicativos-del-crecimiento-urbano-en-la-comunidad-de-madrid-a-traves-de-metodos-estadisticos-\(rlo-y-mla\)-y-sig](http://www.planeamiento-urbanismo.com/articulos/21/analisis-de-factores-explicativos-del-crecimiento-urbano-en-la-comunidad-de-madrid-a-traves-de-metodos-estadisticos-(rlo-y-mla)-y-sig), (última consulta:26/03/2009).
- Plata, W., Gómez, M., Bosque, J. (2009). "Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la comunidad de Madrid (1990-2000)". *Scripta-Nova*, (en prensa).
- Pontius, R. G., & Schneider, L. C. (2001). "Land cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 239-248.
- Pontius, R. G., & Batchu, K. (2003). "Using the relative operating characteristic to quantify certainty in prediction of location of land cover change in India". *Transactions in GIS*, 7 (4), 467-484.
- Verburg, P. H., van Eck, J. R., de Nijs, T. C., Dijst, M. J. and Schot, P. (2004). Determinants of land-use change patterns in the Netherlands. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31, 125-150.