

MULTIPLICIDAD DE CAMBIOS DE USOS DEL SUELO. ESTUDIO DE CASO EN LA COMUNIDAD DE MADRID

MARTA GALLARDO¹

RESUMEN – En las décadas previas a la crisis económica global de 2007, España y, en particular la Comunidad Autónoma de Madrid, por su condición de capitalidad, registraron altas tasas de cambios de usos del suelo, relacionadas con un crecimiento de los usos urbanos, comerciales y de transporte. Entre 1990 y 2006, dicha región registró un incremento en usos artificiales de casi un 70%. Estos cambios se han localizado por todo su territorio afectando incluso a espacios naturales protegidos. Mediante la superposición de cuatro datos temporales correspondientes a los años 1982, 1990, 2000 y 2006, se obtienen estadísticas y resultados espacio-temporales, constatando que la dinámica de cambio de los usos del suelo en la Comunidad de Madrid se ha sucedido de manera rápida e intensa, registrándose en dicho periodo temporal hasta tres transiciones de usos del suelo en ciertas áreas de la región, especialmente alrededor de su área metropolitana. Dichos cambios están asociados con la distancia a los centros urbanos ya existentes y a la mejora de la accesibilidad con la construcción de nuevas infraestructuras de transporte, especialmente de autopistas, autovías y carreteras radiales. La legislación en materia de ordenación urbana de la región y de sus municipios ha permitido el amplio desarrollo de esta tipología de usos del suelo.

Palabras clave: Cambios de usos del suelo; frecuencias de cambio; transiciones; crecimiento urbano; Madrid.

RESUMO – MULTIPLICIDADE DE MUDANÇAS NOS USOS DO SOLO. ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE DE MADRID. Nas décadas anteriores à crise económica global de 2007, a Espanha e, em particular, a Comunidade Autónoma de Madrid, devido à sua condição de capital, registou elevadas taxas de mudança nos usos do solo, relacionadas com o crescimento dos usos urbanos, comerciais e de transportes. Entre 1990 e 2006, a região registou um aumento nos usos artificiais de quase 70%. Essas mudanças foram localizadas em todo o território, afetando até mesmo áreas naturais protegidas. Através da sobreposição de quatro anos correspondentes a 1982, 1990, 2000 e 2006, obtiveram-se esta-

Recibido: julho 2018. Aceite: outubro 2018.

¹ Postdoctoral researcher, Departamento de Geografía, Universidad de Murcia, Santo Cristo, 1, 30001, Murcia, España.

E-mail: marta.gallardo@um.es

tísticas e resultados espaço-temporais, confirmando que a dinâmica da mudança do uso do solo na Comunidade de Madrid aconteceu rápida e intensivamente, registrando neste período até três transições de usos do solo em determinadas áreas da região, especialmente em torno a sua área metropolitana. Essas mudanças estão associadas à distância aos centros urbanos existentes e à melhoria da acessibilidade com a construção de novas infraestruturas de transporte, especialmente de autoestradas e estradas radiais. A legislação sobre planeamento urbano na região e nos seus municípios permitiu o desenvolvimento extensivo desta tipologia de usos do solo.

Palavras-chave: Mudanças nos usos do solo; frequências de mudança; transições; crescimento urbano; Madrid.

ABSTRACT – MULTIPLICITY OF LAND USE CHANGES. THE CASE OF THE REGION OF MADRID. In the decades before the 2007 global economic crisis, Spain and, in particular, the Region of Madrid (due to its status as capital), recorded high rates of land use changes, related to gains in urban, commercial and transport uses. Between 1990 and 2006, artificial uses increased in almost 70%. These changes have been located throughout its territory, even inside natural protected areas. Using four temporary data of years 1982, 1990, 2000 and 2006, statistics and spatio-temporal results are obtained. Land use change dynamics in Madrid has been intense and fast, recording in this period and in certain areas of the region, especially around its metropolitan area, up to three land use transitions. These changes area related with the distance to existing urban areas and with the improvement of accessibility regarding to development of new transport infrastructures, mainly highways and radial roads. Legislation on urban planning in the region and its municipalities, has allowed the large development this land uses typology.

Keywords: Land-use changes; land use frequencies; transitions; urban growth; Madrid.

RÉSUMÉ – MULTIPLICITÉ DES CHANGEMENTS D'UTILISATION DES SOLS. LE CAS DE LA RÉGION DE MADRID. Dans les décennies précédant la crise économique mondiale de 2007, l'Espagne et en particulier, la Communauté autonome de Madrid à raison de son statut de capitale, ont enregistré des taux lents de changements dans l'utilisation des sols, liés à la croissance de leur usage urbain, commercial ou de transport. Entre 1990 et 2006, la région a connu une augmentation de près de 70% des utilisations dites artificielles. Ces changements atteignent l'ensemble du territoire, y compris les aires naturelles protégées. Grâce à la superposition de quatre données, Correspondant aux années 1982, 1990, 2000 – 2006, des statistiques et des résultats spatio-temporels ont été obtenus, confirmant que la dynamique de changement d'utilisation des sols 4 s'est rapidement produite et intensifiée dans la Communauté de Madrid, ayant alors enregistré jusqu'à trois successives modifications en particulier à l'entour de la zone métropolitaine. Ces changements sont liés à l'éloignement des centres urbains et à l'amélioration de l'accessibilité par la construction de nouvelles infrastructures de transport, en particulier des autoroutes et des routes radiales. La législation en matière d'urbanisme régional et municipal a permis un ample développement de cette typologie d'usage des sols.

Mots clés: Changements dans l'utilisation des sols; fréquences des changements; transitions; croissance urbaine; Madrid.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población mundial y la demanda asociada a vivienda, materias primas y energía ha conllevado un rápido aumento en la extensión e intensificación de los centros urbanos y, de forma paralela, a un aumento de las emisiones de efecto invernadero, contaminación del aire y del suelo, pérdida de biodiversidad, entre otros factores. El cambio es irreversible: las superficies artificiales pueden ser consideradas como recursos no renovables (EEA, 2011).

Son varios los estudios que se han centrado en analizar el crecimiento urbano, desde escalas globales (Taubenbock *et al.*, 2012; Frick & Rodríguez-Pose, 2018;) a escalas locales (Seto & Fragkias, 2005; Dahal, Benner, & Lindquist, 2017). Factores como el crecimiento poblacional (Abhishek, Jenamani, & Mahanty, 2017), la mejora de la accesibilidad (Heikkila & Peiser, 1992; Verburg, Overmars, & Witte, 2004) y la cercanía a los propios núcleos de población (Abhishek *et al.*, 2017; Li, Li, & Wu, 2018; Siddiqui *et al.*, 2018), así como el crecimiento económico (Chen, Chang, Karacsonyi, & Zhag, 2014) o los mecanismos de planificación del territorio (Kasraian, Maat, & van Wee, 2017; Yin, Kong, Yang, James, & Dronova, 2018) favorecen estas alteraciones. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) estima que para el año 2050 la población mundial llegará a los 9,7 billones de habitantes, muchos de los cuales (68%) vivirán en áreas metropolitanas y mega-ciudades. Los escenarios de futuro indican presiones sobre tierras de cultivo muy productivas (Bren d'Amour *et al.*, 2017), aumento de inundaciones urbanas (Ahmed *et al.*, 2018), o la urbanización de la pobreza global (Ravallion, Chen, & Sangraula, 2007), entre otras cuestiones, especialmente en el continente asiático y africano.

En España, destaca el arco mediterráneo y la Comunidad de Madrid, esta última por su condición de capitalidad, por ser las áreas geográficas donde se ha producido el mayor desarrollo urbanístico (EEA, 2006; Naredo & García Zaldívar, 2008), en relación con la expansión de usos residenciales y comerciales. Dicho crecimiento está vinculado a la entrada del país en la Comunidad Económica Europea a mediados de la década de los 80 del siglo pasado, registrándose una recuperación económica con la apertura e integración de su economía al mercado común. Este crecimiento, que perduró hasta 1992 con la crisis del Sistema Monetario Europeo, se reflejó en un aumento de flujos comerciales y de inversiones extranjeras, la creación de nuevos espacios industriales y especialmente de servicios terciarios, la mejora de las comunicaciones y, por supuesto, un aumento de desarrollos urbanísticos. Tras la crisis de 1992, España vuelve a recuperarse en 1995, experimentando un nuevo boom económico que perdura hasta el año 2006.

La importancia y la dimensión del sellado del suelo puede ser analizada mediante un análisis espacio-temporal de cambios de usos del suelo. En concreto, entre 1990 y 2000, en la Comunidad de Madrid se produjo un incremento de superficies artificiales de un 47% respecto al primer año, lo que supuso un 3,85% de la superficie regional (OSE, 2006).

Entre los años 2000 y 2006, esta tipología de uso del suelo pasó de ocupar 94 200ha a 114 600ha, suponiendo un incremento de un 22% en solo seis años (Gallardo & Martínez-Vega, 2016). Dicho crecimiento fue impulsado por nuevas infraestructuras de transporte, específicamente de redes viarias de alta capacidad (Serrano Cambronero & Gago García, 2005; García Palomares & Gutiérrez Puebla, 2007), algunas de ellas realizadas de forma innecesaria (Romero *et al.*, 2018) dentro de un contexto político-social favorable de crecimiento económico (Burriel, 2011), localizándose mayormente entorno a la ciudad de Madrid y ciudades vecinas, pero también en áreas alejadas de la metrópoli y con alto valor paisajístico, asociadas a un desarrollo disperso de viviendas unifamiliares de uso secundario y/o al deseo de vivir en contacto con la naturaleza. La influencia que la Comunidad de Madrid tiene sobre sus provincias vecinas, y en relación con la mejora de la accesibilidad mencionada, se observó también un desarrollo urbano en los límites con las provincias de Toledo y Guadalajara, pero también en Ávila, Segovia o incluso Ciudad Real (Burriel, 2011).

Este crecimiento urbano registrado de manera exponencial y desvinculado del crecimiento poblacional, conllevó, al igual que en muchas otras ciudades mediterráneas (Sanz *et al.*, 2013; Abrantes, Fontes, Gomes, & Rocha, 2016) a una pérdida de usos del suelo naturales y fundamentalmente de usos agrícolas (Ruiz-Benito *et al.*, 2010; Hewitt & Escobar, 2011) y a un número ingente de casas y pisos vacíos, infraestructuras sin uso y obras sin terminar. El impacto ambiental generado se asocia con pérdidas en la biodiversidad de tipo herbácea (Gómez-Limón & de Lucio, 1995) o faunística (Palomino & Carrascal, 2007) o un mayor riesgo de incendios forestales (Gómez, Martín, Salas, & Gallardo, 2012), entre otros. En cuanto a los impactos socioeconómicos, están relacionados con un aumento de los precios de la vivienda, endeudamiento en todos los sectores productivos, pero también en las economías domésticas (Observatorio Metropolitano de Madrid, 2013), desahucios por impago de deudas contraídas en la compra de viviendas o aumento del desempleo al estar asociado en gran parte al sector de la construcción.

Se hace necesario un análisis en profundidad de las conversiones de los usos del suelo con el objeto de observar la intensidad de cambio, en cuanto a su cantidad y rapidez. Este trabajo pretende analizar, no tanto las cantidades y las localizaciones de cambios de usos del suelo que se han producido en la Comunidad de Madrid, señaladas ya en trabajos precedentes como, OSE, 2006; Plata Rocha, Gómez Delgado, y Bosque Sendra, 2009; Ruiz-Benito *et al.*, 2010; Hewitt y Escobar, 2011; Díaz-Pacheco y García-Palomares, 2014; Gallardo y Martínez-Vega, 2016, sino obtener un mayor detalle sobre las transiciones de usos del suelo que se han dado, el número de categorías involucradas y la trayectoria de las transiciones según las categorías implicadas, de manera cuantitativa y espacial, haciendo hincapié en el área metropolitana de la región. El análisis se realiza para el periodo temporal comprendido entre 1982, cuando la región se convierte oficialmente en Comunidad Autónoma (Ley Orgánica 6/1982, de 7 de julio) y 2006, un año antes del impacto de la crisis económica actual.

II. METODOLOGÍA

1. Área de estudio

La Comunidad de Madrid tiene una extensión de 8 027km², abarcando el 1,59% de la superficie estatal. Limita con las provincias castellano-leonesas de Ávila y Segovia y las provincias castellano-manchegas de Guadalajara, Cuenca y Toledo (fig. 1). Administrativamente, tiene 179 municipios, en los que hay un total de 6 507,184 de habitantes, concentrados mayormente en la ciudad de Madrid y en los municipios contiguos (fig. 2).

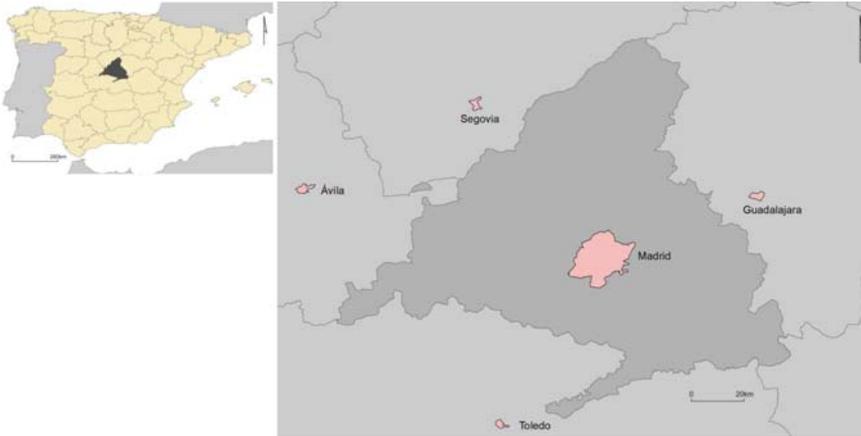


Fig. 1 – Área de estudio. Comunidad Autónoma de Madrid. Figura en color disponible en línea.

Fig. 1 – Study site. Madrid Region. Colour figure available online.

En la planificación su territorio, confluyen el Estado, el Gobierno Regional y los 179 municipios, todos ellos con capacidad de acciones territoriales y urbanas, aunque con distinto rango competencial. El mercado inmobiliario está sometido a regulación municipal, cuyo planeamiento define el destino y aprovechamiento de los diferentes terrenos, los servicios necesarios y el programa de actuación. Las directrices de Ordenación Territorial de la región, están reguladas por la Ley 10/1984 de 30 de mayo. En las últimas décadas ha existido la pretensión de descongestionar el espacio central (la ciudad de Madrid) y dar más importancia a las periferias metropolitanas, dotándolas de servicios a través del fomento de la conectividad, primero con el proyecto Madrid Región Metropolitana (1990) y posteriormente con los Planes Regionales de Estrategia Territorial. Así, han surgido varios desarrollos urbanísticos alrededor de nuevas vías de transporte (García Palomares & Gutiérrez Puebla, 2007) vinculados a diferentes planes de infraestructura, como el Plan de Carreteras de la Comunidad de Madrid (1986-1993), que pretendía construir varios cinturones de circunvalación en torno a la ciudad de Madrid; el Plan de Cercanías de Madrid (1990-1993), el cual suponía la prolongación de la red viaria hacia el norte y sur; o la ampliación del aeropuerto internacional de Barajas Adolfo Suarez.

Posteriormente, la Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de la Comunidad de Madrid, hoy vigente, ha permitido edificar sobre terrenos que no estuvieran expresamente protegidos y deja las manos libres a los ayuntamientos para transformar extensas zonas municipales en urbanizables (Valenzuela, 2010), lo que ha conllevado al aumento del parque de viviendas y a la artificialización de su territorio.

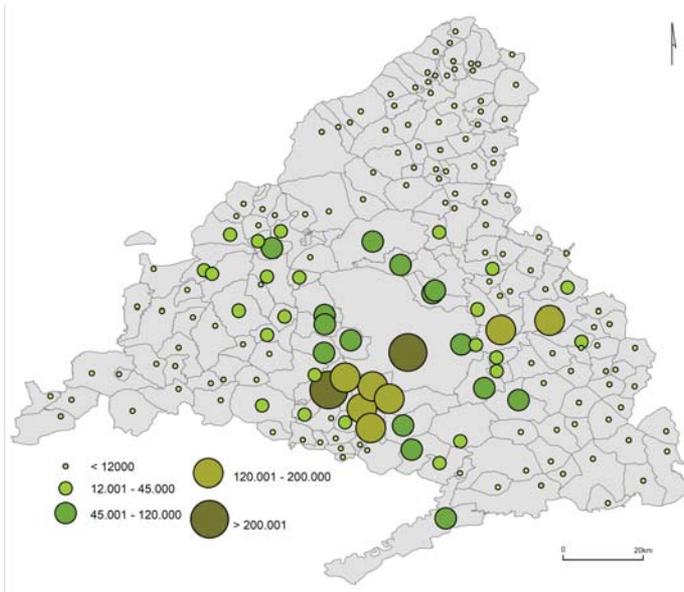


Fig. 2 – Núcleos de población en la Comunidad de Madrid, según número de habitantes.
Figura en color disponible en línea.

*Fig. 2 – Population centers in the region of Madrid, by number of inhabitants.
Colour figure available online.*

2. Cartografía temática

Los análisis de frecuencias de cambios se han realizado utilizando cuatro mapas de usos del suelo que abarcan el territorio de la Comunidad de Madrid y el periodo temporal comprendido entre los años 1982 y 2006. Estos son: a) Mapa de Vegetación y Usos del suelo de la Comunidad de Madrid, del año 1982; y b) mapas CORINE Land Cover (CLC) de los años 1990, 2000 y 2006.

El primero tiene una escala espacial 1:50 000 y se compone de una leyenda temática de 63 categorías diferentes, la cual fue reclasificada al nivel 3 de CLC y a continuación a nivel 2 para poder ser comparada con CLC, tal y como indica la tabla I. La categoría “Recintos Urbanos” se desagregó en cuatro categorías: Zonas urbanas (1.1), Zonas industriales, comerciales y de transporte (1.2), Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción (1.3) y Zonas verdes artificiales (1.4). También se categorizaron usos que no estaban presentes como Cultivos permanentes (2.2), correspondientes a viñedos y frutales,

Espacios abiertos con poca o sin vegetación (3.3), correspondientes a roquedos o espacios con vegetación escasa, Zonas húmedas continentales (4.1), correspondientes a humedales, y Aguas continentales (5.1) correspondientes a cursos de agua. Se utilizaron como apoyo fotografías aéreas, ortofotografías e imágenes de satélite disponibles, cercanas a la fecha, con el objeto de cartografiar estos nuevos usos y verificar la reasignación de categorías y sus límites, especialmente de las categorías que aparecen sombreadas en la tabla I.

Tabla I – Reclasificación de categorías entre el Mapa de Vegetación y Usos del Suelo de la Comunidad de Madrid (1982) y la leyenda temática de CLC, a nivel 2.

Table I – Reclassification of 1982 Vegetation and Land Use Map and CLC thematic legend, level 2.

| Mapa 1982 | CLC n.2 |
|---|--|
| Recintos urbanos | 1.1 Zonas urbanas; o 1.2 Zonas industriales, comerciales y de transporte; o 1.3 Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción; o 1.4 Zonas verdes artificiales |
| Canteras | 1.3 Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción |
| Secanos | |
| Cultivos de regadío en grandes vegas y terrazas | 2.1 Tierras de labor |
| Cultivos de regadío en vegas más pequeñas | |
| Secanos a eriales en áreas suburbanas | 2.1 Tierras de labor; o |
| Cauces y zonas inundables con pastos, arbolado, cultivos, arenas y gravas | 1.3 Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción |
| Olivares | 2.2 Cultivos permanentes |
| Pastos | 2.3 Praderas |
| Mosaico de cultivos de secano y eriales o retama | |
| Mosaico de cultivo de secano y retamares | |
| Mosaico de cultivo y matorral | |
| Mosaico de cultivos con encinas | |
| Mosaico de olivares y secanos | 2.4 Zonas agrícolas heterogéneas |
| Mosaico de cultivos de secano y matorrales | |
| Mosaico abigarrado de prados, viñas, olivares, secanos, setos arbustivos | |
| Rebollares o fresnedas sobre pastos en tránsito a dehesas | |
| Regadíos alternando con secanos en zonas regadas con pozos | |
| Encinares adehesados sobre pastos | |
| Abedulares | |
| Acebedas | |
| Alcornocales | |
| Castañar | |
| Coscojares densos sobre cuestras y taludes | |
| Encinar arbóreo y arbustivo sobre cuestras | |
| Encinar claro con estructura en mosaico con pastos | |
| Encinares densos | |
| Pinar de pino albar | |
| Pinar de pino carrasco | |
| Pinar de pino laricio | |
| Pinar de pino negral | 3.1 Bosque |
| Pinar de pino piñonero | |
| Pinares mezclados | |
| Rebollar arbóreo con otras especies arbóreas | |
| Rebollar puro | |
| Encinares y quejigares arbóreos con espesura completa | |
| Enebrales | |
| Enebral sobre roquedo no predominante <50% | |
| Galerías estrechas en la sierra y rampa | |
| Hayedo con melojo y roble | |
| Sabinar de sabina albar | |

| Mapa 1982 | CLC n.2 |
|---|---|
| Encinar claro Quejigares arbóreos y arbustivos Rebollares o fresnedas arbustivos Formación abierta de frondosas arbóreas | 3.1 Bosque; o 3.2 Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea |
| Encinar muy claro con matorral Encinares arbóreos en mosaico con matorrales y cultivos Encinares muy claros sobre matorral y pastos Encinares y coscojares, predominantemente arbustivos Matas aisladas o rodales de coscoja, con encinas y quejigos arbóreos dispersos Matorral calcícola Matorral calizo Matorral de altura: piornales, codesares Matorral de tránsito Matorral yesoso Matorral acidófilo: brezales Matorral acidófilo: cantesuares, tomillares Matorral acidófilo: jarales Retamares, eriales | 3.2 Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea |
| Enebral sobre roquedo predominante >50% | 3.3 Espacios abiertos con poca o sin vegetación; |
| Ejemplares dispersos de enebro sobre roquedos con matorral | 3.3 Espacios abiertos con poca o sin vegetación; o 3.2 Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea |
| Embalses | 5.1 Aguas continentales |

De igual forma, la escala espacial del mapa de 1982 fue generalizada a la escala de 1:100 000, propia de CLC. Se eliminaron polígonos menores de 25ha y elementos lineales menores de 100m de ancho y posteriormente, se eliminaron los *slivers* de manera manual y no automatizada utilizando como base el mapa CLC 1990.

3. Análisis espacio-temporal

El análisis se realizó mediante la superposición de los cuatro mapas de usos del suelo de manera conjunta y la utilización de una matriz de tabulación cruzada (Pontius, Shusas, & McEachern, 2004) con el objeto de obtener datos cuantitativos. A su vez, se hizo uso de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) para la obtención de resultados espaciales. Se escogió la leyenda temática a nivel 2 de CLC (13 tipologías de usos del suelo en la Comunidad de Madrid) con el objeto de observar las grandes transiciones que se han dado en la región.

Se analizaron el número de categorías involucradas y la trayectoria de las transiciones según las categorías implicadas. Cuando se produce un cambio de uso del suelo entre dos datos temporales, se observa una transición. En nuestro caso de estudio, al existir cuatro datos temporales, puede haber un máximo de tres transiciones, pudiendo estar involucradas cuatro categorías de usos, si en cada año existe un uso del suelo diferente, o tres categorías, si un uso del suelo cambia y más tarde se revierte dicho cambio.

Además del número de transiciones producidas, se observaron los usos que experimentaron ganancias, centrándose en el área metropolitana de la región, ya que es la que registra los cambios más intensos, y observando la influencia de la infraestructura vial en dichos cambios.

III. RESULTADOS

La tabla II muestra el número de transiciones y el número de categorías registradas entre 1982, 1990, 2000 y 2006. Para el periodo completo de estudio, el 18,53% del territorio transiciona una sola vez de una categoría a otra, lo que supone el 86% de todas las transiciones. Solo el 0,20% transiciona en tres ocasiones; esta tipología de transición está ocasionada por cuatro categorías de usos del suelo, pero hay un 0,10% donde están involucradas tres categorías.

Tabla II – Número de transiciones de cambio y de categorías involucradas que se producen en cada intervalo temporal, a nivel 2 de CLC, en porcentaje sobre el total de cambio.

Table II – Number of change transitions and categories involved, in percentage of total change, that take place in each time interval, at CLC level 2.

| Proceso de cambio | 1982, 1990 | 1982, 1990, 2000 | 1982, 1990, 2000, 2006 |
|-------------------|------------|------------------|------------------------|
| 0 Transiciones | 87,20 | 81,60 | 78,53 |
| 1 Categoría | 87,20 | 81,60 | 78,53 |
| 1 Transición | 12,80 | 17,39 | 18,53 |
| 2 Categorías | 12,80 | 17,66 | 19,22 |
| 2 Transiciones | N/A | 1,01 | 2,75 |
| 3 Categorías | N/A | 0,74 | 2,16 |
| 3 Transiciones | N/A | N/A | 0,19 |
| 4 Categorías | N/A | N/A | 0,09 |

Así pues, se puede decir que un 0,2% de la región ha experimentado cambios muy intensos, en los que en cada año de estudio ha registrado un uso del suelo diferente y en donde un 0,1% alguno de sus cambios ha sido reversible.

La figura 3 muestra los flujos de cambio que se han dado a nivel 2 de CLC, pudiéndose diferenciar tres grandes categorías (usos artificiales, usos agrarios y usos forestales), dentro de las 19 tipologías de cambio registradas. Los espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea (3.2) es uno de los usos del suelo más dinámicos, registrando pérdidas hacia usos industriales, comerciales y de transporte (1.2) o hacia tierras agrícolas (2.1), pero especialmente ganancias desde usos agrarios y otros usos forestales. También existen usos del suelo que solo registran ganancias, como puede ser las zonas urbanas (1.1). Los bosques (3.1) tienen menor preferencia al cambio debido a que la mayor parte está sujeta a protección y se encuentra en zonas de sierra con escasa población y actividad económica.

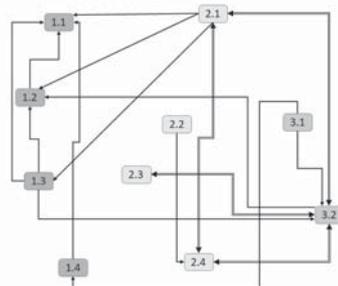


Fig. 3 – Transiciones entre cambios de usos del suelo, según leyenda CLC nivel 2.

Fig. 3 – Land use change transitions, CLC level 2.

La localización de las diferentes categorías involucradas en los cambios de usos del suelo puede observarse en la figura 4. Al comparar estos resultados con un mapa de las ganancias de usos del suelo que se han producido (fig. 5) puede observarse que son cuantiosos los cambios, estando distribuidos por toda la geografía madrileña. La mayoría, tal y como se ha manifestado en la tabla II, se corresponde con 2 categorías involucradas, es decir, solo se ha registrado una transición o un solo cambio de uso del suelo. Las teselas de mayor tamaño se encuentran alrededor de la metrópoli, asociadas a usos del suelo artificiales (usos urbanos, industriales, comerciales o de transporte), pero también al sureste de la región, estas últimas asociadas al abandono agrícola y donde se ha producido una ganancia de matorrales y/o asociaciones de vegetación herbácea o zonas agrícolas heterogéneas. También encontramos numerosas teselas tanto en el norte como al oeste de la región, en relación la implantación de viviendas secundarias y forestaciones.

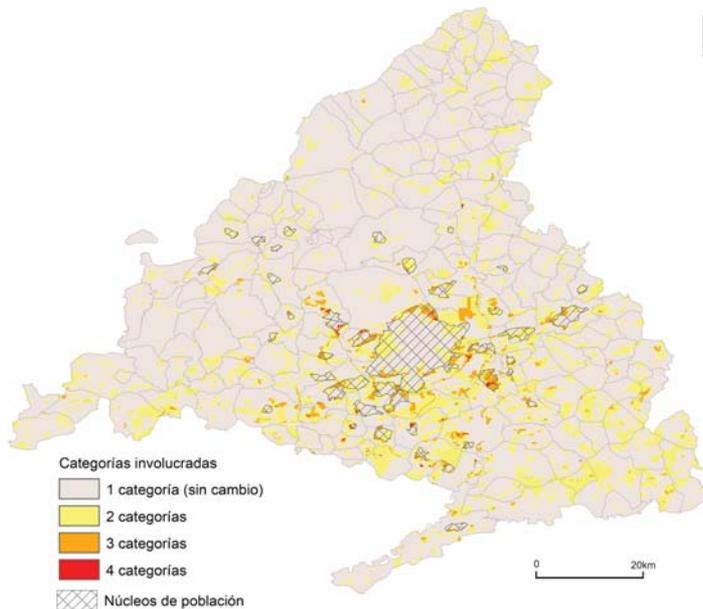


Fig. 4 – Localización espacial del número de categorías involucradas en los cambios de usos del suelo en los años 1982, 1990, 2000 y 2006. Figura en color disponible en línea.

Fig. 4 – Location of the number of categories involved in land use changes in 1982, 1990, 2000 and 2006. Colour figure available online.

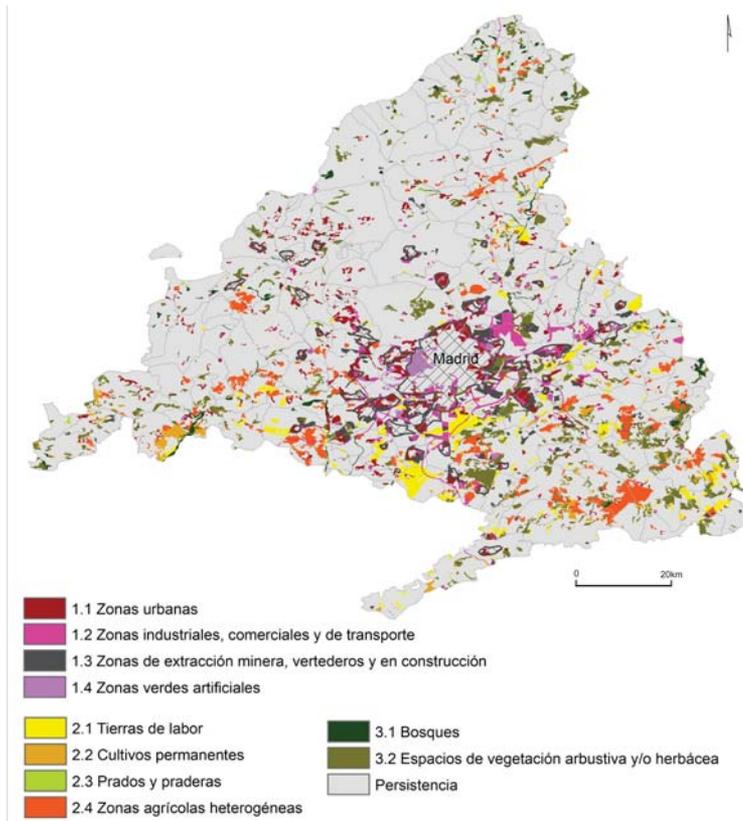


Fig. 5 – Ganancias de usos del suelo registradas entre 1982 y 2006, a nivel 2 de CLC. Figura en color disponible en línea.

Fig. 5 – Land use gains between 1982 and 2006, CLC level 2. Colour figure available online.

Los registros de 3 categorías involucradas son igualmente abundantes, si bien estos se localizan en su mayoría alrededor del área metropolitana, vinculados a las nuevas carreteras radiales, como puede percibirse por su conformación circular. Por último, las manchas correspondientes a cuatro categorías, es decir, hasta tres cambios de usos del suelo en la misma área, son relativamente escasas y de pequeño tamaño, y están localizadas en la zona central y alrededor de la metrópoli y de las principales vías de transporte (fig. 6). En su mayoría, estas zonas se caracterizan por haber experimentado un cambio desde usos agrícolas, hacia usos forestales, asociados a una matorralización debido al abandono del laboreo, convirtiéndose a continuación en zonas en construcción y siendo en el año 2016, zonas urbanas o industriales y comerciales (tabla III).

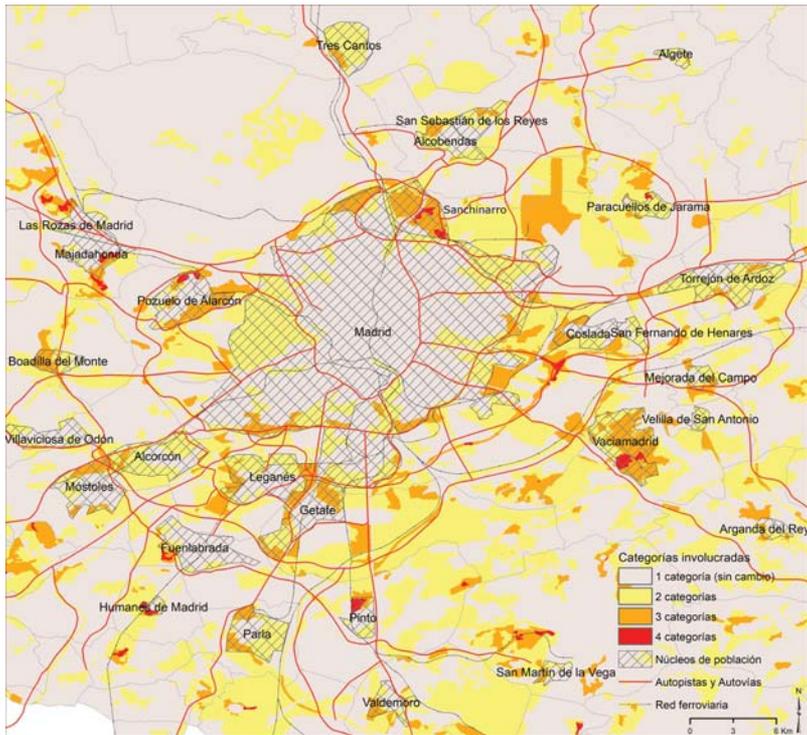


Fig. 6 – Cambios de usos del suelo y categorías involucradas en el área metropolitana de Madrid y ciudades cercanas. Figura en color disponible en línea.

Fig. 6 – Land use changes and categories involved located in Madrid metropolitan area and other neighbor cities. Colour figure available online.

Tabla III – Ejemplo de cuatro cambios categóricos de usos del suelo y su localización, según numeración de la leyenda CLC nivel 2.

Table III – Example of four categorical land use changes and their location. Number corresponding to CLC legend level 2.

| Localización | Nombre localidad | 1982 | 1990 | 2000 | 2006 |
|--------------|--------------------------|------|------|------|------|
| Norte | Sanchinarro (Madrid) | 2.1 | 3.2 | 1.3 | 1.1 |
| | Pozuelo | 2.1 | 3.2 | 1.3 | 1.1 |
| Oeste | Majadahonda | 2.1 | 3.2 | 1.2 | 1.1 |
| | Las Rozas (tesela norte) | 2.4 | 2.1 | 1.3 | 1.1 |
| | Las Rozas (tesela sur) | 2.4 | 2.1 | 3.2 | 1.3 |
| Sur | Pinto | 2.4 | 2.1 | 1.3 | 1.1 |
| Suroeste | Fuenlabrada | 2.4 | 2.1 | 1.3 | 1.2 |
| | Humanes | 2.4 | 2.1 | 1.3 | 1.1 |
| Sureste | Rivas-Vaciamadrid | 2.4 | 2.1 | 1.3 | 1.2 |

Con el objeto de observar con más detalle estos cambios, la figura 7 muestra un zoom del área metropolitana de la región, donde pueden observarse conjuntamente las intensidades de cambio producidas (izquierda) y los usos que han experimentado ganancias (derecha). Queda registrado la artificialización (colores rojos y morados) de esta zona y cómo prácticamente la totalidad del área de influencia de 500m a las áreas urbanas que existían en 1982, ha sido invadida por otros usos del suelo.

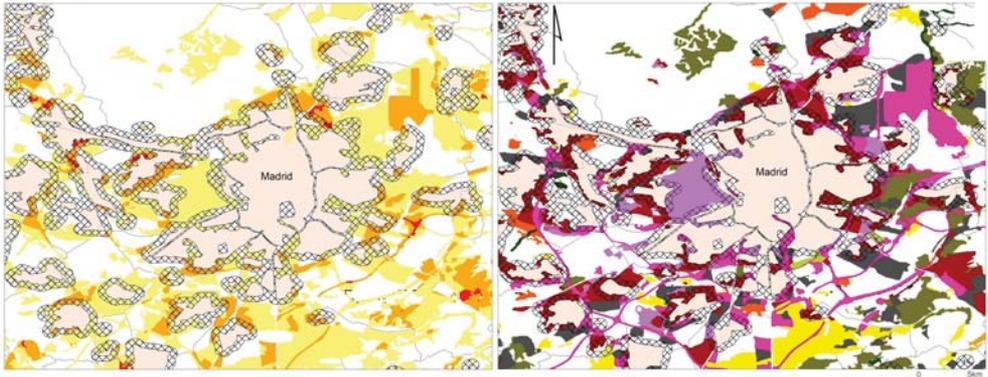


Fig. 7 – Número de categorías involucradas (izquierda) y ganancias (derecha) registradas en Madrid y alrededores, y en un área de influencia de 500m respecto a los núcleos urbanos existentes en el año 1982. Figura en color disponible en línea.

Fig. 7 – Categories involved (left) and land use gains (right) in Madrid and surrounding, and in a 500m buffer 1982 cities centers. Colour figure available online.

La distancia a los centros urbanos y la accesibilidad, medida como tiempo de viaje, según la velocidad permitida en vías de alta velocidad (120km/h) influye decisivamente en la dinámica de los cambios de usos del suelo y especialmente en la instalación de nuevos usos artificiales. Así, podemos ver en la figura 8 cómo las zonas en las que existe una mala accesibilidad a los centros urbanos, el cambio ha sido prácticamente inexistente y, al igual que se observaba en la figura 7, la cercanía a los propios centros urbanos conlleva un crecimiento de estos. También se ha producido un desarrollo urbanístico en áreas alejadas de la metrópoli, pero siempre vinculadas a la cercanía a las vías de comunicación.

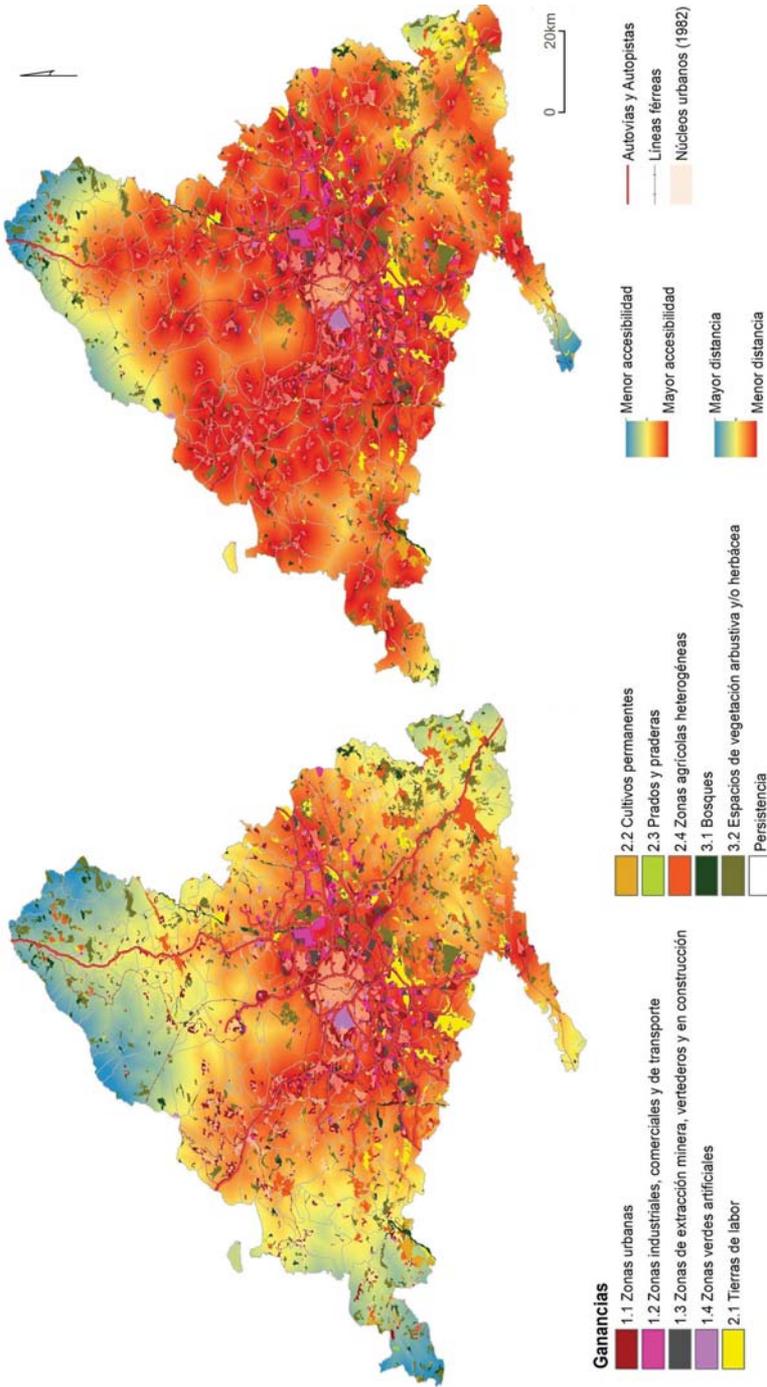


Fig. 8 – Localización de las ganancias de usos del suelo en relación a la accesibilidad a los centros urbanos (izquierda) y a la distancia a estos (derecha).

Figura en color disponible en línea. *Fig. 8 – Land use gains location related to accessibility to urban centers (left) and distance to these (right). Colour figure available online.*

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La región de Madrid ha experimentado intensos cambios de usos del suelo en las últimas décadas, no solo en cuanto al número de hectáreas de cambio y a su dispersión por su geografía, sino también en cuanto a su frecuencia. Como ha podido señalarse en el trabajo, existen determinadas áreas, mayormente localizadas alrededor de la metrópoli y en torno a las carreteras radiales, donde se han registrado hasta dos o incluso tres transiciones. Es decir, durante los años 1982 y 2006 se han superpuesto en una misma zona, tres o cuatro categorías de usos del suelo diferentes, suponiendo un 3.7% del cambio sobre el total registrado, lo que ejemplifica que dichos cambios se han producido de manera vertiginosa. Los instrumentos de planificación del territorio en la región se han mostrado débiles (EEA, 2011) a la hora de proteger los usos naturales y agrarios, y al igual que en otras ciudades y regiones (Fainstein, 1991; Abrantes *et al.*, 2016; Hesperger *et al.*, 2018) se ha primado la promoción del desarrollo económico frente a regular y guiar un desarrollo sostenible.

Tal y como comentan Rubiera Morollón, González Marroquín, y Pérez Rivero (2016), el desarrollo urbanístico se ha concentrado en las inmediaciones de los antiguos núcleos urbanos, pero también a lo largo de las nuevas periferias desarrolladas a partir de la construcción de nuevas infraestructuras de autopistas, autovías y radiales, asociadas a la mejora de la accesibilidad y a la disminución en el tiempo de viaje entre dichas áreas y la ciudad de Madrid. También se ha producido un incremento en puntos cada vez más alejados de la capital, en el área montañosa localizada el oeste y noroeste y ocupada por vegetación forestal y arbustiva, denotando el carácter explosivo del crecimiento propio del modelo de conurbación difusa o *sprawl* (Moliní & Salgado, 2012; Díaz-Pacheco & García Palomares, 2014). Lugares que cuentan con protección en materia legislativa, como son los espacios naturales protegidos, se han visto afectados también por este proceso (Romero-Calcerrada & Perry, 2004; Hewitt & Escobar, 2011; Martínez-Vega, Díaz, Nava, Gallardo, & Echavarría, 2017).

Aun cuando la reclasificación y generalización del mapa de 1982 se realizó de manera semiautomática y se llevó a cabo un arduo proceso de verificación y corrección manual, es importante señalar que puede existir cierta incertidumbre en los resultados, debido al uso de datos provenientes de diferentes fuentes y realizados bajo metodologías distintas. Así, Gallardo (2018) señala que los cambios de usos del suelo registrados usando los cuatro mapas mencionados en este trabajo no han sido constantes en el tiempo y que existe cierta inestabilidad temporal, la cual se ve reducida al descartar el mapa de 1982. Especialmente se ha observado que existe una confusión en la reclasificación de este mapa entre las categorías 2.4 Zonas agrícolas heterogéneas y 2.1 Tierras de labor, relacionada con el detalle de desagregación de éstas en el mapa de 1982 (tabla I). Un ejemplo de ello, puede observarse en la tabla III donde una de las teselas localizadas en el municipio de Las Rozas transiciona desde zonas agrícolas heterogéneas, hacia tierras de labor, para después pasar a ser espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea y finalmente zonas de extracción minera, vertederos y en construcción. Lo anterior no implica que el uso de

cartografías con la misma escala espacial y temática y desarrolladas bajo un mismo proyecto, como es CLC, también puedan registrar incertidumbres, tal y como señalan García-Álvarez y Camacho Olmedo (2017) o errores asociados al propio proceso cartográfico. CLC 90 y CLC 06 presentan una exactitud temática mayor al 85% (Büttner & Maucha, 2006), lo que deriva en una posibilidad de errores temáticos de hasta un 15%. En este sentido, este tipo de estudio puede facilitar también la detección de posibles errores, ya que no es habitual que un uso del suelo cambie a otro uso que había previamente en el tiempo, especialmente cuando se trabaja con periodos temporales cortos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhishek, N., Jenamani, M., & Mahanty, B. (2017). Urban growth in Indian cities: Are the driving forces really changing? *Habitat International*, 69, 48-57.
- Abrantes, P., Fontes, I., Gomes, E., & Rocha, J. (2016). Compliance of land cover changes with municipal land use planning: evidence from the Lisbon metropolitan region (1990–2007). *Land Use Policy*, 51, 120-134
- Ahmed, F., Moors, E., Alam Khan, M. S., Warner, J., & van Scheltinga, C. T. (2018). Tipping points in adaptation to urban flooding under climate change and urban growth: The case of the Dhaka megacity. *Land Use Policy*, 79, 496-506.
- Bren d'Amour, C., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K.-H... Seto, K. C. (2017). Future urban land expansion and implications for global croplands. *PNAS*, 114(34), 8939-8944.
- Büttner, G., & Maucha, G. (2006). *The thematic accuracy of Corine Land Cover 2000. Assessment using LUCAS (land use/cover area frame statistical survey)*. Technical report No. 7. Copenhagen: European Environmental Agency.
- Burriel, E. L. (2011). Subversion of land-use plans and the housing bubble in Spain. *Urban Research & Practice*, 4(3), 232-249.
- Chen, J., Chang, K. T., Karacsonyi, D., & Zhag, X. (2014). Comparing urban land expansion and its driving factors in Shenzhen and Dongguan, China. *Habitat International*, 43, 61-71.
- Dahal, K. R., Benner, S., & Lindquist, E. (2017). Urban hypotheses and spatiotemporal characterization of urban growth in the Treasure Valley of Idaho, USA. *Applied Geography*, 79, 11-25.
- Díaz-Pacheco, J., & García-Palomares, J. C. (2014). Urban sprawl in the Mediterranean Urban Regions in Europe and the crisis effect on the urban land development: Madrid as study case. *Urban Studies Research*, 2014, 13. doi: 10.1155/2014/807381
- European Environmental Agency. (EEA). (2011). *Analyzing and managing urban growth*. Copenhagen: European Environmental Agency.
- European Environmental Agency. (EEA). (2006). *Land accounts for Europe 1990-2000: Towards integrated land and ecosystem accounting*. EEA Report No 11/2006. Luxembourg: European Environmental Agency.
- Fainstein, S. S. (1991). Promoting economic development urban planning in the United States and Great Britain. *Journal of the American Planning Association*, 57, 22-33.
- Frick, S. A., & Rodríguez Pose, A. (2018). Change in urban concentration and economic growth. *World Development*, 105, 156-170.
- Gallardo, M. (2018). Inestabilidad temporal en los estudios de cambios de usos del suelo [Temporal instability in land use change studies]. In M. J. López García, P. Carmona, J. Salom & J. M. Albertos (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento* [Geographic Information Technologies: Multidisciplinary perspectives in the knowledge society] (pp. 350-359). Valencia: Universidad de Valencia.
- Gallardo, M., & Martínez-Vega, J. (2016). Three decades of land-use changes in the región of Madrid and how they relate to territorial planning. *European planning studies*, 24, 1016-1033.

- García-Álvarez, D., & Camacho Olmedo, M. T. (2017). Changes in the methodology used in the production of the Spanish CORINE: Uncertainty analysis of the new maps. *International Journal of Applied Earth Observation*, 63, 55-67.
- García Palomares, J. C., & Gutiérrez Puebla, J. (2007). La ciudad dispersa: Cambios recientes en los espacios residenciales de la Comunidad de Madrid [The dispersed city: Recent changes in the residential spaces of the Region of Madrid]. *Anales de Geografía*, 271, 45-67.
- Gómez, I., Martín, M. P., Salas, F. J., & Gallardo, M. (2012). Análisis del régimen histórico de incendios forestales en la Comunidad de Madrid (1985-2010) y su relación con los cambios de usos del suelo [Analysis of historical regime of forest fires in the Region of Madrid (1985-2010) and its relationship with land use changes]. In J. Martínez-Vega & M. P. Martín (Eds.), *Proceedings of the 15th Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica* [Proceeding of the 15th National Congress in Geographic Information Technologies] (pp. 71-82). Madrid: AGE.
- Gómez-Limón, F. J., & de Lucio, J. V. (1995). Recreational activities and loss of diversity in grasslands in Alta Manzanares Natural Park, Spain. *Biological Conservation*, 74, 99-105.
- Heikkilä, E., & Peiser, R. B. (1992). Urban sprawl, density, and accessibility. *Papers in Regional Science*, 71(2), 127-138.
- Hesperger, A. M., Oliveira, E., Pagliarin, S., Palka, G., Verburg, P., Gradinaru, S. (2018). Urban land-use change: The role of strategic spatial planning. *Global Environmental Change*, 51, 32-42.
- Hewitt, R., & Escobar, F. (2011). The territorial dynamics of fast-growing regions: Unsustainable land use change and future policy challenges in Madrid, Spain. *Applied Geography*, 31, 650-667.
- Kasraian, D., Maat, K., & van Wee, B. (2017). The impact of urban proximity, transport accessibility and policy on urban growth: a longitudinal analysis over five decades. *Environment and Planning B: Urban analytics and City Science*. doi: 10.1177/2399808317740355
- Li, C., Li, J., & Wu, J. (2018). What drives urban growth in China? A multi-scale comparative analysis. *Applied Geography*, 98, 43-51.
- Martínez-Vega, J., Díaz, A., Nava, J. M., Gallardo, M., & Echavarría, P. (2017). Assessing land use-cover changes and modelling change scenarios in two mountain Spanish National Parks. *Environments*, 4(4), 79. doi: 10.3390/environments4040079
- Moliní, F., & Salgado, M. (2012). Sprawl in Spain and Madrid: a low starting point growing fast. *European Planning Studies*, 20(6), 1075-1092.
- Naredo, J. M., & García Zaldívar, R. C. (2008). *Estudio sobre la ocupación de suelo por usos urbano-industriales, aplicado a la Comunidad de Madrid* [Study on the occupation of land by urban-industrial uses, applied to the Region of Madrid]. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Universidad Politécnica de Madrid.
- Observatorio Metropolitano de Madrid. (2013). *Paisajes devastados después del ciclo inmobiliario: Impactos regionales y urbanos de la crisis* [Devastated landscape after the real estate cycle: regional and urban impacts of the crisis]. Madrid: Traficantes de Sueños.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España. (OSE). (2006). *Cambios de ocupación del suelo en España: Implicaciones para la sostenibilidad* [Land occupation changes in Spain: implication for sustainability]. Madrid: Mundi-Prensa Libros, 485 p.
- Palomino, D., & Carrascal, L. M. (2007). Habitat associations of a raptor community in a mosaic landscape of Central Spain under urban development. *Landscape and Urban Planning*, 83, 268-274
- Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M., & Bosque Sendra, J. (2009). Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la Comunidad de Madrid (1990-2000) [Changes in land use and urban expansion in the Region of Madrid (1990-2000)]. *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, XIII(293).
- Pontius Jr, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101, 251-268.
- Ravallion, M., Chen, S., & Sangraula, P. (2007). New evidence on the urbanization of global poverty. *Population and Development Review*, 33(4), 667-701.
- Rubiera Morollón, F., González Marroquin, V. M., & Pérez Rivero, J. L. (2016). Urban sprawl in Spain: differences among cities and causes. *European Planning Studies*, 24(1), 207-226.

- Romero, J., Brandis, D., Delgado, C., León García, J., Gómez Moreno, M. L., Olcina, J... Vicente, J. (2018). Aproximación a la Geografía del despilfarro en España: balance de las últimas dos décadas [Approach to the Geography of waste of economic resources in Spain: balance of the last two decades]. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 77, 1-51.
- Romero-Calcerrada, R., & Perry, G. L. W. (2004). The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA «Encinares del Río Alberche y Cofio», Central Spain, 1984-1999. *Landscape and Urban Planning*, 66, 217-232.
- Ruiz-Benito, P., Cuevas, J. A., Bravo de la Parra, R., Prieto, F., García del Barrio, J. M., & Zavala, M. A. (2010). Land use change in a Mediterranean metropolitan region and its periphery: assessment of conservation policies through CORINE land cover data and Markov models. *Forest Systems*, 19, 315-328.
- Sanz, A. S. R., Fernandez, C., Mouillot, F., Ferrat, L., Istria, D., & Pasqualini, V. (2013). Long-term forest dynamics and land-use abandonment in the Mediterranean Mountains, Corsica, France. *Ecology and Society*, 18(2), 38.
- Serrano Cambroner, M., & Gago García, C. (2005). Crecimiento urbano y tipología rurubana en periferia de Madrid. Estudios en el caso de la orbital M-50 [Urban growth and ruruban typology in the periphery of Madrid. The case of the M-50 orbital road]. In C. Conesa García, Y. Álvarez Rogel & C. Granell Pérez (Eds.), *El empleo de los SIG y la teledetección en la planificación territorial* [The use of GIS and remote sensing in territorial planning] (pp. 157-170). Murcia: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Seto, K. C., & Fragkias, M. (2005). Quantifying spatio-temporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics. *Landscape Ecology*, 20(7), 871-888.
- Siddiqui, A., Siddiqui, A., Maithani, S., Jha, A. K., Kumar, P., & Srivastav, S. K. (2018). Urban growth dynamics of an Indian metropolitan using CA Markov and Logistic Regression. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 21(3), 229-236. doi: 10.1016/j.ejrs.2017.11.006
- Taubenböck, H., Esch, T., Belbier, A., Wisner, M., Roth, A., & Dech, S. (2012). Monitoring urbanization in mega cities from space. *Remote Sensing of Environment*, 117, 162-176.
- Valenzuela, M. (2010). La planificación territorial de la región metropolitana de Madrid. Una asignatura pendiente [Territorial planning in the metropolitan region of Madrid. An unresolved matter]. *Cuadernos geográficos*, 47, 95-129.
- Verburg, P. H., Overmars, K. P., & Witte, N. (2004). Accesibility and land-use patterns at the forest fringe in the northeastern part of the Philippines. *The Geographical Journal*, 170, 238-255.
- Yin, H., Kong, F., Yang, X., James, P., & Dronova, I. (2018). Exploring zoning scenario impacts upon urban growth simulations using a dynamic spatial model. *Cities*, 81, 214-229.