

# Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada

Francisco AGUILERA BENAVENTE

Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada  
Campus de Fuente Nueva. Edificio Politécnico s/n CP. 18071. Granada  
email: franab@ugr.es

Recibido: 8 de Marzo de 2010  
Aceptado: 6 de Octubre de 2010

## RESUMEN

Las métricas de análisis espacial o de la ecología del paisaje han sido y son unos instrumentos ampliamente utilizados en el análisis y estudio de la estructura, función y cambio en los paisajes. Sin embargo, en los últimos años, estas métricas se han comenzado a aplicar en la caracterización y análisis de paisajes propiamente urbanos. En este trabajo se presenta una revisión del marco teórico en el que se sustenta la aplicabilidad de estas métricas en el análisis de los paisajes urbanos, mostrando un ejemplo de aplicación mediante la valoración de patrones de ocupación urbana en escenarios futuros de crecimiento para el Área Metropolitana de Granada.

**Palabras clave:** Métricas de análisis espacial, ecología del paisaje, patrones de ocupación urbana, Área Metropolitana de Granada.

## Using landscape metrics to analyse urban spatial patterns in the Metropolitan area of Granada

## ABSTRACT

Landscape metrics have been widely used to perform analyses of landscape structure, function and change. Within the last years, these metrics have been recently used to analyse urban landscapes. This paper presents a review of the theoretical background for the use of these metrics in urban landscapes, focusing on some recent works. Furthermore, we present an application of landscape metrics to assess urban land use patterns in future scenario simulations for the metropolitan area of Granada.

**Keywords:** Landscape metrics, landscape ecology, urban land use patterns, Metropolitan Area of Granada.

## Metriques de l'écologie du paysage pour l'évaluation de modèles d'occupation urbaine pour la Agglomération Urbaine de Grenade

### RÉSUMÉ

Les métriques d'analyse spatiale ou de l'écologie du paysage ont été et sont des instruments très utilisés dans l'analyse et dans l'étude de la structure, la fonction et le changement dans les paysages. Cependant, dans les dernières années, ces métriques s'ont été commencées à appliquer dans la caractérisation et l'analyse de paysages proprement urbains. À ce travail on présente une révision du cadre théorique dans lequel se base l'applicabilité de ces métriques dans l'analyse des paysages urbains, en montrant un exemple d'application avec l'évaluation de modèles d'occupation urbaine dans scénarios futures de croissance pour la agglomération urbaine de Grenade.

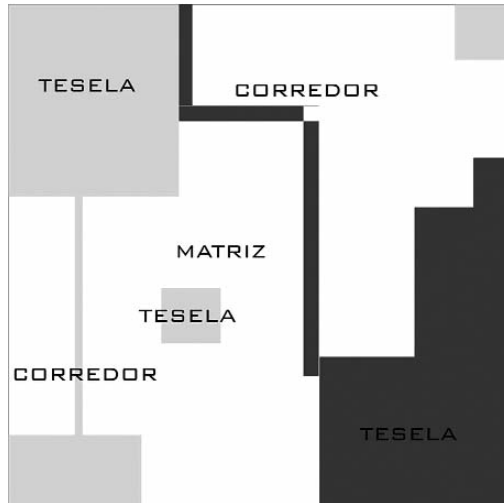
**Mots-clé:** Métriques d'analyse spatiale, Écologie du paysage, modèles d'occupation urbaine, agglomération urbaine de Grenade

### 1. INTRODUCCIÓN: LAS MÉTRICAS DE ANÁLISIS ESPACIAL

Desde un enfoque ecológico, el estudio de la estructura del paisaje, así como de sus propiedades de *composición* (tipos de elementos que forman parte del paisaje) y *configuración* (disposición espacial de dichos elementos) ha sido uno de los objetos de estudio de la ecología del paisaje como ciencia, en el contexto del rápido desarrollo experimentado por la disciplina en las últimas décadas (Dramstad, et al, 1996), así como uno de sus puntos de encuentro con la geografía (Sotelo, 1991) y la planificación ambiental (Antrop, 2001; Botequilha y Ahern, 2002).

Tomando como base el modelo de tesela (o fragmento)-corredor-matriz (Forman y Godron, 1986, Forman, 1995) (Figura 1), la ecología del paisaje ha centrado su atención en el estudio de los diferentes tipos de teselas que componen un paisaje, sus tamaños y formas; la presencia de corredores y su conectividad, la distribución espacial de dichos corredores y teselas, etc. Muchas de estas características espaciales de forma, tamaño, distribución, etc., pueden ser cuantificadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (Bosque y García, 2000) y de un conjunto de métricas o índices de la ecología del paisaje (McGarigal y Marks, 1995; Gustafson, 1998; Herzog y Lausch, 2001; Botequilha y Ahern, 2002; Turner, 2005), que pueden ser definidos como *un conjunto de medidas cuantitativas agregadas derivadas del análisis digital de mapas temáticos* (Herold et al, 2003)

Figura 1. Modelo Tesela, corredor, matriz



Fuente: elaboración propia

Estas métricas pueden aportar información, por ejemplo, de la proporción que existe de un determinado uso en un paisaje, la forma o elongación de las teselas de cada uso, o los tamaños medios de cada tesela. Esta información consiste únicamente en un conjunto de valores numéricos (una parte de ellos con un rango de variación definido), que por sí solos, es decir, en términos absolutos, no tienen un valor determinante. No obstante, y desde el punto de vista de su valor comparativo, los resultados de dichos índices pueden aportar una información muy valiosa acerca de la evolución y cambios que tienen lugar en un paisaje determinado, o a la hora de comparar diferentes paisajes. Esta es una de las razones por las que su empleo se ha extendido en los últimos años, estando incluso disponible un software específico (FRAGSTATS) elaborado por McGarigal y Marks (1995) que permite obtener de forma sencilla y gratuita un amplio conjunto de métricas de este tipo.

Las implicaciones que plantea la posibilidad de valorar y cuantificar cambios en los paisajes, y la posibilidad de vincular dichas modificaciones a procesos territoriales, son obvias (Dramstad et al, 1997; Jongman, 2004): así, la ecología del paisaje y la planificación territorial encuentran un ámbito de trabajo común en el que se incorpora la dimensión ecológica-espacial a la valoración, análisis y planificación territorial (Botequilha et al, 2006). Por su parte, este nuevo espacio de encuentro ha requerido y requiere de un lenguaje (Antrop, 2001) y contexto teórico propio (Botequilha y Ahern, 2002), que a día de hoy sigue desarrollándose.

En cualquier caso los puntos de encuentro de las disciplinas son claros. Valga como ejemplo la *cuestión de la escala*, de capital importancia en los trabajos y prácticas relacionadas con la planificación territorial, que por otra parte, resulta igualmente de vital importancia en la ecología del paisaje. No en vano, cualquier patrón o forma que se pueda detectar y medir en un paisaje a través de estas métricas, dependerá fundamentalmente de la escala que se emplee para ello (Forman y Godron, 1986; McGarigal y Marks, 1995; Turner, 2005).

En este espacio interdisciplinar se han desarrollado múltiples trabajos (Antrop, 2001, Botequilha y Ahern, 2002; Kong et al, 2007) que han tenido como objetivo la selección de aquellas métricas o índices más representativos y de mayor utilidad para ser empleados en la monitorización, seguimiento, planificación y elaboración de proyectos en territorios diversos, que van desde espacios agrarios periurbanos, con un elevado grado de alteración urbana, a espacios naturales protegidos en un estado natural de conservación. Valgan como ejemplos, entre los múltiples trabajos existentes, el plan del municipio italiano de Pozzalo en Sicilia (Bettini et al, 2001); desarrollado bajo los preceptos de la ecología del paisaje y el diseño de corredores ambientales, al igual que para la región de Padua (Bettini et al, 2006); los trabajos en el ámbito metropolitano de Milán de Senes y Toccolini (2004) para la valoración y planeamiento de los recursos naturales y culturales de su entorno; o los de Botequilha et al, (2006) en el que se valoran diferentes escenarios de crecimiento y su sostenibilidad para la ciudad de Amherst (EEUU) mediante un conjunto de métricas de la ecología del paisaje.

En este contexto, surge la cuestión de la posible aplicabilidad e interés de dichos índices o métricas para estudiar paisajes o entornos meramente urbanos. ¿Resultaría de interés conocer las características espaciales de los nuevos crecimientos urbanos, la compacidad de los nuevos fragmentos, o el aislamiento de los mismos? La respuesta parece obvia. Sin embargo, la cuestión *¿podrían emplearse para ello las métricas de la ecología del paisaje?* no tiene una respuesta tan inmediata. Y es que la aplicabilidad y utilidad de unos instrumentos diseñados para caracterizar estructuras de los paisajes atendiendo a su dimensión ecológico-espacial, puede presentar dudas. Por ello, en este artículo se aborda la revisión de algunos de los trabajos recientes que han apostado por valorar, a través de este conjunto de índices, algunas características espaciales de paisajes urbanos, así como una discusión acerca de la aplicabilidad de dichos índices en estos ámbitos. Con el objetivo de mostrar un ejemplo concreto, se presentará finalmente la aplicación de un conjunto sencillo de métricas de análisis espacial para valorar los patrones de crecimiento urbano experimentados en tres escenarios simulados para el año 2020 en el Área Metropolitana de Granada.

## **2. LA APLICABILIDAD DE LAS MÉTRICAS DE ANÁLISIS ESPACIAL A ENTORNOS URBANOS Y METROPOLITANOS**

Las métricas de la ecología del paisaje surgieron para valorar las características espaciales y territoriales de los procesos ecológicos (Gustafson, 1998), en relación con conceptos como la fragmentación, la diversidad, la dominancia, la forma, el aislamiento, la compacidad, elongación, etc.

Sin embargo, muchos de estos conceptos (fragmentación, forma, compacidad, diversidad), tienen un interés (creciente, de hecho) en el tratamiento y estudio de los fenómenos de expansión urbana y metropolitana que tienen lugar en España, Europa y en Estados Unidos (Alberti, 1999; Antrop, 2000; Galster et al, 2001; Song y Knaap, 2004; Indovina, 2005; Dalda et al, 2006; Ministerio de Vivienda, 2006; Kasanko et al, 2006; EEA, 2006). Dado el hecho de que la mayor parte de los trabajos que estudian de los procesos de crecimiento urbano únicamente emplean las estadísticas de ocupación del suelo para monitorizar y valorar los cambios metropolitanos (Herzog y Lausch, 2001), las métricas de análisis espacial puede aportar nuevas posibilidades de

análisis. Así, se podrían realizar estudios de los patrones de crecimiento (Alberti, 1999), las formas de ocupación urbana (Herold et al 2003), la valoración de escenarios futuros (Van Beusekom, 2003; Franco et al, 2005) y la validación de los resultados de los modelos de simulación (Berling-Wolf y Wu, 2004) entre otros.

Para ello, sería necesario emplear las métricas para medir características espaciales que tengan que ver con la fragmentación, forma, aislamiento, conectividad, compacidad y elongación, diversidad, etc., en este caso sin relación con los procesos ecológicos. Su aplicabilidad a este respecto puede ser discutida mediante la revisión de trabajos relevantes en la materia (tabla 1).

Tabla 1. Métricas de análisis espacial para valorar características espaciales de paisajes urbanos

Autor	Ámbito de estudio y descripción del trabajo	Métricas empleadas
Geoghegan et al (1997)	Washington DC, EEUU. Estimación de los valores económicos de áreas residenciales incorporando características de la estructura espacial del paisaje urbano, determinadas a través de métricas de análisis espacial	Diversidad, Dimensión Fractal (FD), Longitud de Bordes
Alberti y Waddel (2000)	Región Metropolitana Puget Sound, Washington, EEUU. Empleo de métricas de análisis espacial para determinar los cambios introducidos en el paisaje por los resultados de modelos de simulación.	Diversidad, Dominancia, Índice de Forma (SHAPE_MN), Distancia al vecino más Próximo (ENN_MN), Dimensión Fractal Contagio (C)
Van Beusekom (2003)	Dos ámbitos metropolitanos en los Países Bajos (Rotterdam-La Haya y Den Bosch-Oss). Se exploran un conjunto de índices o herramientas de análisis espacial para evaluar características de escenarios futuros que tienen que ver con aspectos como la sostenibilidad o la calidad de vida.	Landscape SHAPE Index, Índice de Agregación (AI), Distancia al vecino más Próximo (ENN_MN), Índice de Proximidad Medio (MPI)
Berling- Wolf y Wu (2004)	Área metropolitana de Phoenix, EEUU. Selección y aplicación de un conjunto de métricas de análisis espacial para evaluar los resultados de modelos de simulación desde el punto de vista de la estructura del paisaje resultante.	Número de Fragmentos (NP), Densidad de Bordes (ED), Tamaño Medio de Mancha (AREA_MN), Coeficiente de variación del tamaño de mancha (PCSV), Índice de forma ponderado por área (AWMSI), Dimensión Fractal
Alberti y Marzluff (2004)	Región metropolitana Puget Sound, Washington, EEUU. Aplicación de métricas de análisis espacial para la caracterización del paisaje metropolitano y su puesta en relación con las características de los ecosistemas presentes.	Porcentaje de Usos, Tamaño medio de fragmento (AREA_MN), Contagio (C), Dominancia (D0), Índice de Agregación (AI), Porcentaje de Adyacencias
Franco <i>et al</i> (2005)	Venecia, Italia. Estimación de métricas de análisis espacial para la valoración de escenarios de desarrollo territorial	Distancia al vecino más próximo (ENN_MN), Conectividad, Distancia mínima y máxima entre elementos corredor
Herold et al (2005)	Santa Bárbara, California (EEUU). Métricas de análisis espacial para analizar los patrones de crecimiento urbano.	Contagio (C), Densidad de Fragmentos (PD); Porcentaje de uso (%LAND); Densidad de Bordes (ED); Dimensión fractal media ponderada (AWMPFD).
Mateucci y Silva (2005)	Región de la Pampa, Argentina. Análisis de imágenes de satélite a través de métricas análisis espacial para discriminar áreas con diferente grado de alteración humana en función de la estructura del paisaje	Porcentaje de Usos (PLAND), Densidad de Fragmentos (PD), Tamaño Medio de Fragmento (AREA_MN), Densidad de Bordes (ED); Índice de Forma (SHAPE), Dimensión Fractal, Distancia al vecino más próximo (ENN_MN), Índice de Proximidad (MPI)
Li et al (2008)	Delta del río Pearl, China. Empleo de Métricas para la identificación de "signaturas" de crecimiento urbano para su posterior simulación.	Distancia al vecino más próximo (ENN_MN), índice de agregación (AI), Índice de forma medio (MPSI), Dimensión Fractal Media (MPFD)

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de los trabajos citados en la tabla

Del conjunto de trabajos recogidos en la tabla 1, se pueden identificar tres grupos principales:

El primer grupo de trabajos emplea las métricas de análisis espacial con el objetivo de realizar una *descripción espacial de las características de los paisajes urbanos*. Ejemplos de estos trabajos son los de Geoghegan et al (1997), que emplean un conjunto de métricas de fragmentación y de diversidad en la evaluación de los valores residenciales en el área metropolitana de Washington, desde un punto de vista del valor económico. Igualmente, los de Alberti y Marzluff (2004) y Herold et al (2005) emplean métricas de análisis espacial para determinar las características espaciales del paisaje urbano, entre las que se encuentran el tamaño medio de los fragmentos, o el índice de contagio, con un enfoque similar al presentado en Mateucci y Silva (2005) para la estimación del grado de alteración por acción del hombre en Argentina.

El segundo grupo emplea las métricas *como instrumento de comparación espacial y/o de optimización de simulaciones urbanas o de cambios de usos*. En esta línea se enmarca el estudio de Alberti y Waddell (2000), en el que se señala su importancia para mejorar la implementación de los modelos de simulación del cambio de los usos del suelo, puesto que pueden permitir la generación de unas simulaciones más acordes con la realidad de la estructura y composición de los paisajes simulados. En esta línea Herold et al (2003) así como Li et al (2008) establecen mediante un conjunto de métricas unas *signaturas* de los crecimientos urbanos experimentados, que luego puedan ser implementadas en la modelización de los mismos. Por su parte, Berling-Wolf y Wu (2004) llevan a cabo una validación de los resultados de un modelo de simulación de la ocupación urbana para la ciudad de Phoenix a través de estos instrumentos.

Finalmente, el tercer grupo de trabajos emplea las métricas para *la valoración de escenarios futuros*, como los de Van Beusekom (2003) o los de Franco et al (2005), haciendo especial hincapié en lo que respecta a cuestiones como la sostenibilidad o la calidad de vida de los mismos. Para ello las métricas de análisis espacial pueden jugar un papel importante tanto en la valoración en sí de las formas y patrones de crecimiento, así como en los cambios inducidos en la estructuras periurbanas existentes (DiBari, 2007).

De esta forma se puede concluir que los trabajos analizados muestran el amplio campo de aplicabilidad de las métricas de la ecología espacial o del paisaje al análisis, modelización y valoración de paisajes urbanos, como una herramienta de fácil disponibilidad y que puede ser empleada en cualquier lugar en el contexto del modelo tesela-corredor-matriz.

### 3. EJEMPLO DE APLICACIÓN: VALORACIÓN DE PATRONES DE CRECIMIENTO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GRANADA

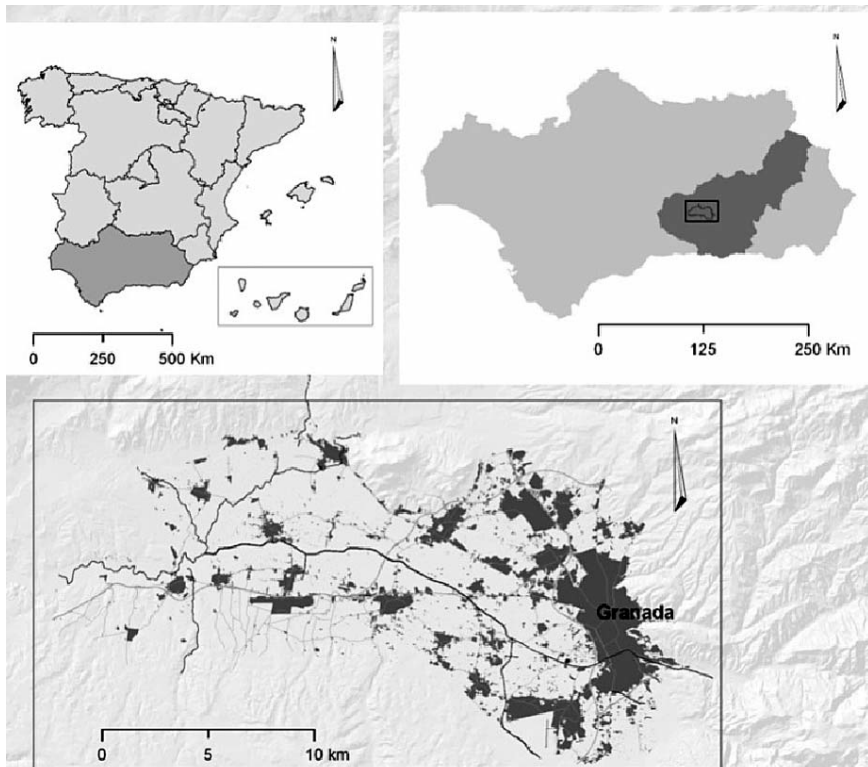
Como ejemplo de aplicación de las métricas de análisis a entornos urbanos, a continuación se aborda la valoración de las formas o patrones de crecimiento en tres simulaciones de escenarios futuros obtenidas para el Área Metropolitana de Granada. Para ello, en primer lugar se ha realizado una selección de un conjunto de métricas que permitirán detectar **diferentes características espaciales de los crecimientos simulados**, en comparación con la situación existente en el año 2004. En función de

la evolución de dichas características espaciales cada uso urbano (residencial, industrial, comercial, etc) se podrá identificar la tendencia de crecimiento de uno de ellos hacia diversos patrones o formas de crecimiento.

### 3.1. EL ÁREA METROPOLITANA DE GRANADA Y LA CARTOGRAFÍA DE OCUPACIÓN URBANA.

El Área de Metropolitana de Granada (AMG) (Figura 2), tradicionalmente denominada comarca de la Vega de Granada, con una superficie de 859,34 km<sup>2</sup> y 32 municipios (Consejería de Obras Públicas, 1999), ha experimentado en las últimas décadas una serie de transformaciones especialmente vinculadas a la ocupación de suelo con funciones urbanas (Aguilera 2008). Situada en la depresión del río Genil, en el sudeste de la península Ibérica, dicha región posee un importante valor agro-productivo (Menor, 2000), de tal forma que su organización territorial a lo largo de la historia ha reflejado la importancia económica de la explotación agraria, que sin embargo se encuentra en franca regresión (Consejería de Obras Públicas, 1999; Fernández, 2004), a la vez que presenta un elevado dinamismo urbano (Aguilera, 2008). Se presenta de esta forma como un área adecuada para mostrar el interés de estas métricas de análisis espacial en la descripción e identificación de los patrones y formas de crecimiento urbano.

Figura 2. Ámbito de estudio



Fuente: Elaboración propia

Para este ámbito de estudio se ha elaborado una cartografía de ocupación urbana a partir de un proceso de fotointerpretación de ortofotografías aéreas a escala 1:10.000 existentes para la región de Andalucía, y publicadas por el Instituto de Cartografía de Andalucía con fecha de 2004. Este proceso de interpretación y posterior digitalización ha permitido generar una cartografía de ocupación de suelo con 4 categorías principales (Aguilera 2008). Son las siguientes (Figura 3)

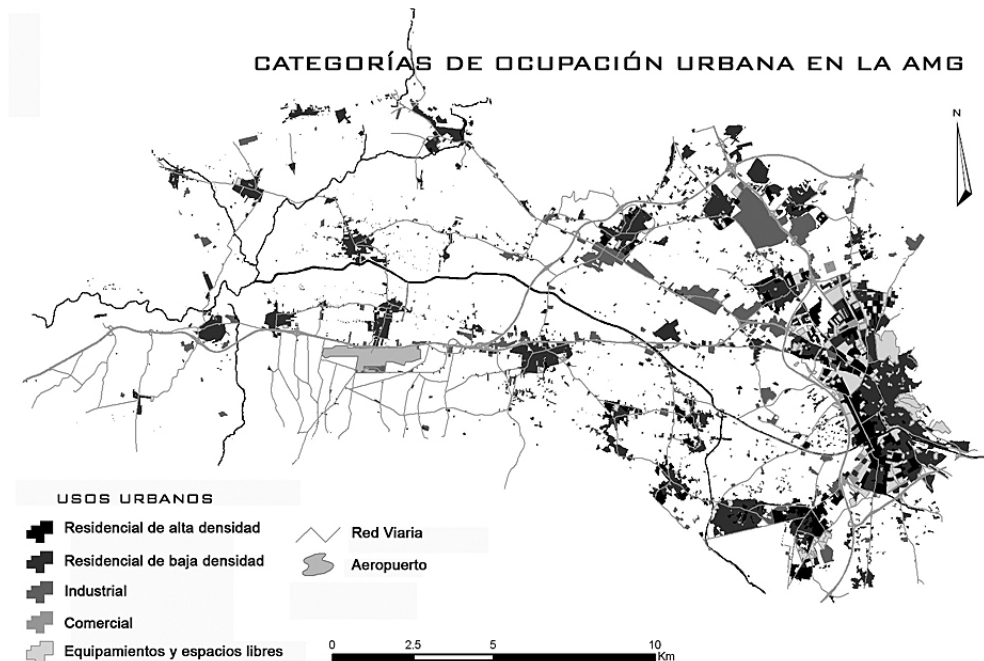
**Zonas residenciales de alta densidad:** en referencia a aquellas zonas con viviendas en altura correspondientes con la ciudad tradicional. Su mayor presencia se encuentra en la capital de la AMG, aunque existen nuevos desarrollos de áreas de este tipo en los núcleos urbanos de la corona metropolitana.

**Zonas residenciales de baja densidad:** en referencia a aquellas áreas de viviendas unifamiliares, bien por tratarse de núcleos urbanos tradicionales, o por ser nuevos desarrollos de urbanizaciones y viviendas de este tipo.

**Áreas industriales:** Zonas industriales y de almacenamiento y distribución, que suelen localizarse principalmente en el entorno de los principales ejes viarios metropolitanos.

**Zonas comerciales:** aquellas áreas en las que se ubican grandes superficies comerciales, de ocio, etc., las cuales se localizan generalmente en las cercanías de los nodos de la red viaria metropolitana.

Figura 3. Cartografía de categorías de ocupación del suelo urbanizado en el ámbito de estudio



Fuente: Elaboración propia

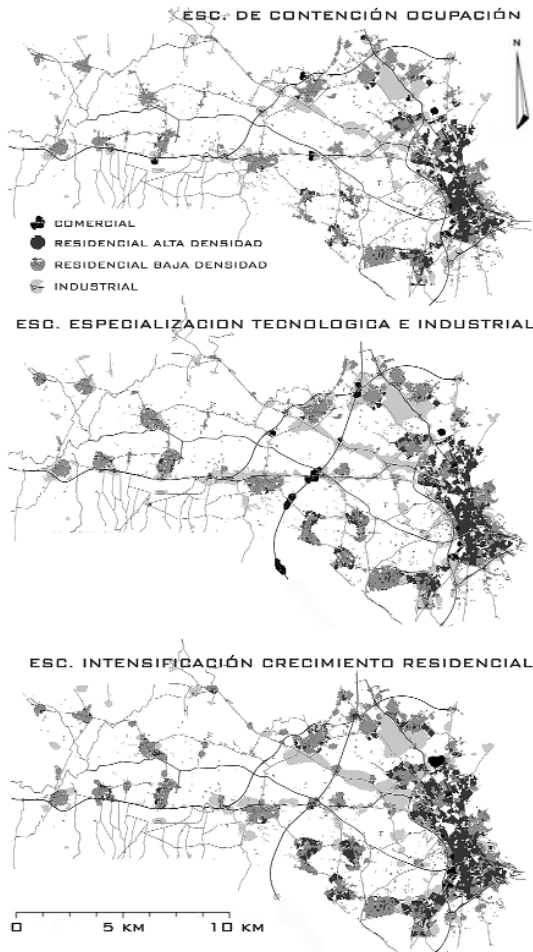


### 3.2. LOS ESCENARIOS FUTUROS VALORADOS POR LAS MÉTRICAS

Para el ámbito de estudio del Área Metropolitana, y en el contexto de diversos trabajos previos de simulación (Aguilera, 2006; Aguilera, 2008; Valenzuela et al, 2008) se dispone de simulaciones de ocupación urbana para tres escenarios futuros, que muestran posibles evoluciones del crecimiento metropolitano para un horizonte temporal del año 2020, mediante la representación de diferentes intensidades, formas y tendencias de crecimiento.

Los escenarios han recibido la denominación de *Escenario de intensificación de la ocupación residencial*, *Escenario de especialización tecnológica e industrial*, y *Escenario de contención de la ocupación urbana*. La figura 4 muestra la cartografía de ocupación urbana generada en las simulaciones futuras para cada uno de ellos.

Figura 4. Cartografía de ocupación de suelo obtenida en las simulaciones de los escenarios futuros para el año 2020

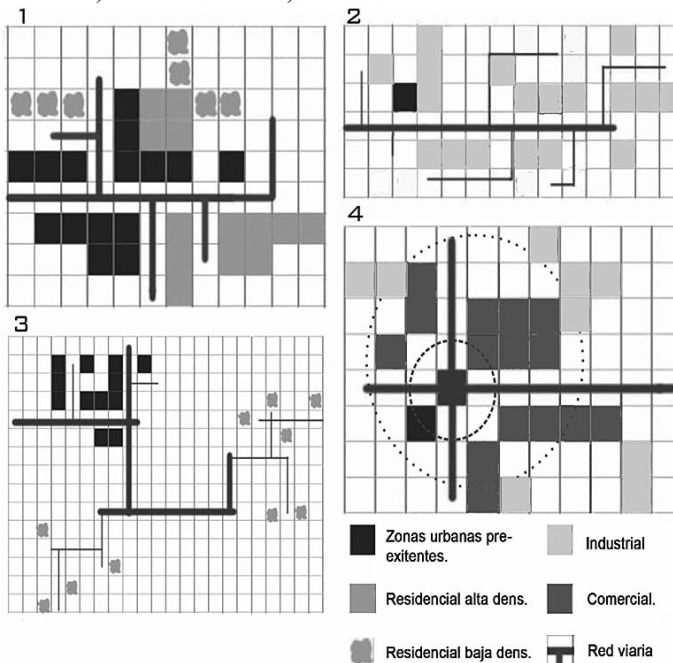


Fuente: Aguilera (2008). En el trabajo citado se lleva a cabo la simulación de diferentes escenarios de crecimiento urbano, que son valorados en este artículo

### 3.3. LOS PATRONES DE OCUPACIÓN URBANA

El objetivo principal del presente ejemplo de aplicación es mostrar la aplicabilidad de las métricas de análisis espacial para identificar un conjunto de patrones o formas de ocupación urbana. Estos patrones pueden ser entendidos como diferentes morfologías de crecimiento caracterizadas tanto por su forma como por el tipo de ocupación presente (Galster *et al*; 2001; Song y Knaap, 2004) (Figura 5). Con vistas a su identificación mediante las métricas, se han considerado 4 patrones de ocupación urbana detectados para diversas áreas metropolitanas en Europa (Font, 2004; Indovina, 2005.) A continuación se señalan las características espaciales asociadas a cada uno de ellos.

Figura 5. Esquema de representación de crecimientos urbanos atendiendo a diferentes patrones: 1) *Agregado*. 2) *Lineal*. 3) *Urbanizaciones*. 4) *Nodal*



Fuente: Elaboración propia

*Patrón Agregado:* Se corresponde con las formas de crecimiento urbano tradicional de la ciudad mediterránea, que tienen lugar mediante crecimientos adyacentes a los núcleos urbanos consolidados (Monclús, 1998). Suele estar integrado mayoritariamente por zonas residenciales de alta densidad que se mezclan con espacios libres y equipamientos.

*Patrón lineal:* Representa formas de crecimiento urbano que tienden de manera preferente a ocupar los espacios circundantes a las vías de comunicación. Las tipologías predominantes en estos patrones de crecimiento son los suelos industriales o de actividades mixtas (Font, 2004), dada las ventajas logísticas de ocupar dichas vías.

*Patrón en urbanizaciones:* Explica la aparición de formas urbanas con una función preferentemente residencial, con predominio de las tipologías residenciales dispersas en las que la vivienda unifamiliar y la baja densidad urbana son características. Estos patrones revelan crecimientos con una fuerte dependencia del vehículo privado ya que en muchos casos se encuentran alejados de núcleos urbanos consolidados.

*Patrón nodal:* Hace referencia a los crecimientos urbanos existentes junto a los principales nodos de comunicación –cruces de carreteras, nodos de infraestructuras lineales, etc–. En el área de estudio, este patrón de crecimiento se caracteriza principalmente por tipologías comerciales e industriales que buscan suelos de bajo coste pero con alta accesibilidad.

### 3.4. LA SELECCIÓN DE LAS MÉTRICAS DE ANÁLISIS ESPACIAL

Para valorar la evolución de cada uso urbano hacia formas propias de uno u otro de los patrones descritos, se han seleccionado un conjunto de métricas de análisis espacial, de entre una cantidad ingente existente (O'Neill et al, 1988; Riitters et al, 1995; Botequilha y Ahern, 2002). Las métricas seleccionadas aportarán información acerca de la fragmentación, forma/compacidad y aislamiento o dispersión (Van Beusekom, 2003; Botequilha et al, 2006) de los usos urbanos. Una descripción de las métricas seleccionadas, de acuerdo con McGarigal et al (2002), es la siguiente:

Número de Teselas o “Patch Number” (NP): El número de teselas es la métrica más sencilla que puede dar una idea de la medida en que un uso se encuentra dividido o fragmentado. Únicamente consiste en identificar el número de teselas o fragmentos individuales existentes de cada uno de los usos urbanos identificados. Por tanto puede orientar acerca de la fragmentación que cada uso presenta en los distintos escenarios.

Tamaño medio de las teselas o “Medium patch size” (AREA\_MN): El tamaño medio de fragmento o tesela para un uso muestra la superficie media de las manchas individuales de un uso determinado. Junto con el NP, aporta información acerca de la fragmentación del uso en cuestión, de tal forma que un incremento del NP junto a una disminución del AREA\_MN revelará un incremento de la fragmentación.

Compacidad media de los fragmentos o “Mean Compaction” (GYRATE\_MN): Esta métrica aporta una idea de la compacidad de los diferentes fragmentos, o en sentido inverso, de su elongación. Es la media para todos los fragmentos de un mismo uso del valor del parámetro radio de giro (GYRATIE). Este parámetro se calcula para cada fragmento como la distancia de cada píxel al centroide de dicho fragmento. Cuanto más cercanos a la forma del círculo son estos fragmentos, menores serán los valores del GYRATE y mayor será su compacidad. En sentido contrario, un mayor valor mostrará una mayor elongación de los fragmentos. Es necesario destacar que este índice se encuentra influenciado por el tamaño de los fragmentos, de tal forma

que incrementos en el  $AREA_{MN}$ , generalmente se traducen en una mayor elongación o incremento del  $GYRATE_{MN}$ .

Índice de Forma medio o “Mean Shape Index” ( $SHAPE_{MN}$ ): El índice de forma es una métrica que aporta información de la complejidad geométrica de los fragmentos. Mide la relación entre el perímetro de un fragmento y el perímetro que tendría el fragmento más simple de la misma área, de tal forma que mayores valores de este índice muestran un incremento de la complejidad de sus formas. Al contrario que para el caso del  $GYRATE_{MN}$ , este índice no es sensible al tamaño de mancha. Aporta también una medida de la compacidad/forma de los fragmentos.

Distancia media al vecino más próximo o “Mean Euclidian distance to nearest neighbour” ( $ENN_{MN}$ ): Es la media para cada uso de la distancia a la tesela más próxima del mismo uso, y aporta información acerca del grado de aislamiento de los distintos fragmentos. Una disminución de sus valores puede suponer la aparición de nuevos fragmentos en el caso de usos que se encuentran muy aislados, mientras que por el contrario su incremento puede suponer la agregación de múltiples fragmentos que se encontraban muy cercanos.

Índice de Proximidad Medio o “Mean Proximity Index” ( $MPI$ ): El  $MPI$ , desarrollado por Gustafson y Parker (1994) viene dado por el valor medio para cada tipo de categoría de ocupación o uso del denominado índice de proximidad ( $PI$ ), el cual equivale a la suma de las áreas en  $m^2$  de los fragmentos de un uso existentes a una distancia dada del fragmento inicial (500 metros para el caso de estudio) dividida entre la suma de las distancias mínimas al cuadrado entre esos fragmentos y el inicial. Esta métrica es por tanto sensible al incremento del tamaño de mancha, como sucede en el caso del  $GYRATE_{MN}$ . Aporta información acerca de la proximidad /aislamiento de los distintos usos.

### 3.5. LA RELACIÓN ENTRE LAS MÉTRICAS Y LOS PATRONES DE OCUPACIÓN

Seleccionadas las métricas, las características espaciales medidas por ellas se pueden poner en relación con las características de los patrones de ocupación urbana. De esta forma, la variación conjunta de los valores de las diferentes métricas podrá ser interpretada como una tendencia hacia uno u otro patrón de ocupación urbana. A modo de ejemplo, una elevación del número de fragmentos ( $NP$ ) junto a una disminución de su tamaño medio ( $AREA_{MN}$ ), indicarían una mayor fragmentación, que podría ser interpretada como una tendencia hacia un patrón en urbanizaciones.

La tabla 2 trata de resumir la relación que se puede establecer entre la evolución en los valores de las métricas y los posibles cambios de patrón experimentados.

Tabla 2. Interpretación de los cambios en las métricas en relación con los diferentes patrones de ocupación urbana

METRICA	PROPIEDAD ESTIMADA	INTERPRETACIÓN A NIVEL DE PATRONES DE OCUPACIÓN
NP	Cambio en el número de teselas o fragmentos del uso urbano	Un incremento estaría asociado a una mayor dispersión del uso, y un aumento a una mayor agregación. Se debe valorar conjuntamente con el AREA_MN
AREA_MN	Cambio en el tamaño medio de los fragmentos de cada uso urbano	Un incremento mostraría unas teselas de mayor tamaño. Unido a una disminución del NP se interpretaría como incremento de la agregación. Sin embargo un cambio en el mismo sentido que el NP puede indicar un patrón en urbanizaciones.
SHAPE_MN	Cambio en la forma/elongación de los fragmentos	Un incremento sugiere fragmentos más alargados, propios de un patrón lineal.
GYRATE_MN	Cambio en la forma de los fragmentos	Su interpretación es similar a la del SHAPE_MN, con mayor elongación para valores más altos. Sin embargo esta métrica es dependiente del AREA_MN, luego a mayores AREA_MN tiende a incrementarse.
ENN_MN	Cambio en la distancia media de un fragmento al más cercano	Su incremento mostraría una mayor dispersión del uso por el territorio. Unido a incrementos de NP y AREA_MN se traduce en patrón nodal o en urbanizaciones. Una disminución unida a descenso del NP y aumento del AREA_MN mostraría un patrón más agregado
MPI	Cambio en el índice de proximidad de los fragmentos	Su incremento muestra un incremento de los fragmentos en el entorno de los fragmentos existentes, así como del tamaño de aquellos. Su interpretación es similar a la del ENN_MN, aunque dependiente del AREA_MN

Fuente: Elaboración propia

#### 4. RESULTADOS

A partir del cálculo de los valores de las métricas seleccionadas para los tres escenarios futuros, se ha establecido para cada uso urbano la evolución de los índices (en %) con respecto al año 2004. Con ello ha sido posible identificar las tendencias al cambio patrón mostrada por cada uso urbano en los escenarios simulados.

La tabla 3 recoge los cambios mostrados en cada uso urbano para las diferentes métricas, y una interpretación del cambio de patrón experimentado en las simulaciones. Estos resultados se comentan igualmente en los siguientes epígrafes:

Tabla 3. Interpretación de los cambios de patrón en los diferentes usos urbanos a través de los cambios en los valores de las métricas de análisis espacial

Escenario	Uso	Índices	% cambio 2004	Proceso de cambio de patrón
ESCENARIO DE CONTENCIÓN DE LA OCUPACIÓN URBANA	Residencial baja Densidad	NP	+ 8 %	Incremento de la fragmentación, que se observa a través de un incremento del número de fragmentos de este uso (+8 % NP) y de la disminución del tamaño medio de los mismos (-5% AREA_MN). Cierta tendencia a intensificar patrón en urbanizaciones.
		AREA_MN	- 5%	
		GYRATE_MN	- 3%	
		SHAPE_MN	- 1%	
		ENN_MN	- 3%	
	MPI	+ 2 %		
	Residencial alta Densidad	NP	+ 1 %	No existe una alteración del patrón de ocupación existente. Los cambios en los valores de los índices son muy bajos, como mucho del 2 %, por lo que se mantienen las mismas características espaciales de este uso
		AREA_MN	- 0,5 %	
		GYRATE_MN	+ 1%	
		SHAPE_MN	<i>Estable</i>	
		ENN_MN	- 2 %	
	MPI	- 2 %		
	Industrial	NP	+ 7 %	Mayor número de fragmentos (NP) y de mayor tamaño (AREA_MN), que además se distribuyen más ampliamente por el ámbito de estudio (disminución del ENN_MN e incremento del MPI), lo que puede ser atribuible a crecimientos de acuerdo con el patrón nodal.
		AREA_MN	+ 18 %	
		GYRATE_MN	+ 7 %	
		SHAPE_MN	+ 2 %	
		ENN_MN	- 8 %	
	MPI	+ 68 %		
Comercial	NP	+ 117 %	El incremento del NP y disminución del ENN_MN muestran una mayor dispersión y distribución de este uso por el ámbito de la AUG, lo que sugiere un patrón probablemente nodal.	
	AREA_MN	- 1,5 %		
	GYRATE_MN	- 2 %		
	SHAPE_MN	+ 3 %		
	ENN_MN	-17%		
MPI	<i>Estable</i>			
ESCENARIO DE ESPECIALIZACIÓN TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL	Residencial baja Densidad	NP	- 4%	Leve incremento de la agregación, como revela la disminución del NP y el incremento del AREA_MN. Pequeños fragmentos urbanos de baja densidad se agrupan entre sí por agregación dando lugar igualmente a un incremento del MPI. Tendencia a la agregación.
		AREA_MN	+ 14 %	
		GYRATE_MN	- 1 %	
		SHAPE_MN	+ 1 %	
		ENN_MN	+ 1 %	
	MPI	+ 51 %		
	Residencial alta Densidad	NP	+ 144 %	Mayor dispersión de este uso con incremento muy elevado del NP y disminución acusada del AREA_MN. Igualmente, caída del ENN_MN y del MPI que sugieren una mayor distribución de este uso en el territorio. Formas más redondeadas (disminución del SHAPE_MN ) que sugieren mayor tendencia al patrón en urbanizaciones
		AREA_MN	- 51 %	
		GYRATE_MN	- 33 %	
		SHAPE_MN	- 9 %	
		ENN_MN	- 46 %	
	MPI	- 34 %		
	Industrial	NP	+ 32 %	Tendencia al cambio hacia el patrón de ocupación lineal como demuestran los incrementos tanto del AREA_MN como del GYRATE_MN y SHAPE_MN. Por su parte, la mayor cercanía de unas manchas a otras al formarse continuos urbanos lineales se demuestra con la caída del ENN_MN.
		AREA_MN	+ 26 %	
		GYRATE_MN	+ 15 %	
		SHAPE_MN	+ 5 %	
		ENN_MN	- 21 %	
	MPI	+ 347 %		
Comercial	NP	+ 250 %	Incremento del NP y AREA_MN unido a una mayor distribución del uso en el territorio (incremento del ENN_MN). Este hecho se interpreta como la aparición de nuevos paquetes urbanos de este uso, asociados el patrón de ocupación nodal	
	AREA_MN	+26%		
	GYRATE_MN	-1%		
	SHAPE_MN	-1%		
	ENN_MN	-43%		
MPI	<i>Estable</i>			

Tabla 3. Interpretación de los cambios de patrón en los diferentes usos urbanos a través de los cambios en los valores de las métricas de análisis espacial (continuación)

Escenario	Uso	Índices	% cambio 2004	Proceso de cambio de patrón
ESCENARIO DE INTENSIFICACIÓN DE LA OCUPACIÓN RESIDENCIAL	Residencial baja Densidad	NP	+ 3 %	Evolución tendente a formar urbanizaciones que aglutinan algunos de los fragmentos dispersos existentes, lo que se traduce en un incremento del AREA_MN y en la disminución del ENN_MN. Esto se produce debido a la existencia de un uso ya de por sí muy fragmentado.
		AREA_MN	+ 18 %	
		GYRATE_MN	+ 6 %	
		SHAPE_MN	+ 1 %	
		ENN_MN	- 5 %	
		MPI	+ 25 %	
	Residencial alta Densidad	NP	+ 139 %	Mayor dispersión, que se pone de manifiesto en el incremento del NP así como en la disminución de todas las demás métricas. Evolución hacia un patrón en urbanizaciones.
		AREA_MN	- 35 %	
		GYRATE_MN	-22 %	
		SHAPE_MN	-5 %	
		ENN_MN	- 52 %	
	Industrial	MPI	- 18 %	Patrón de ocupación que se hace más agregado, como se manifiesta en el incremento del AREA_MN y la caída del NP, a la vez que aumenta el ENN_MN y se reduce el MPI. Se generan fragmentos de mayor tamaño por agregación de fragmentos existentes más aislados,
		NP	- 11 %	
		AREA_MN	+ 74 %	
		GYRATE_MN	+ 12 %	
		SHAPE_MN	0	
		ENN_MN	+ 4 %	
	Comercial	MPI	- 42 %	Este uso parece mantener el mismo patrón existente, sin que exista una evolución hacia un patrón nodal más distribuido por el territorio, cómo se debería producir de acuerdo con el patrón que se pretendía representar en el modelo. Únicamente se produce un aumento de tamaño de los fragmentos existentes.
		NP	Estable	
		AREA_MN	+ 91 %	
GYRATE_MN		+ 22 %		
SHAPE_MN		+1 2 %		
	ENN_MN	- 2 %		
	MPI	Estable		

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1. EL ESCENARIO DE CONTENCIÓN DE LA OCUPACIÓN URBANA

En una valoración general, este escenario muestra una menor modificación de los valores de las métricas con respecto a 2004 que el resto. Así, los usos residenciales muestran una estabilidad en las métricas, que revela una permanencia del patrón de ocupación existente.

Sin embargo, el uso industrial muestra un cambio de patrón propiciado por nuevos crecimientos de carácter nodal, como refleja tanto el leve incremento del número de fragmentos (NP) como de su tamaño medio (AREA\_MN). Este hecho también está sugerido por la mayor distribución del uso industrial a lo largo del AMG que queda de manifiesto especialmente en el incremento del índice de proximidad medio (MPI), y en la ligera disminución del ENN\_MN.

Los crecimientos del uso comercial sugieren igualmente una tendencia hacia el patrón nodal, que se hace patente en un incremento del número de fragmentos (NP) a la vez que la distancia al fragmento más próximo (ENN\_MN) se ve disminuida de forma sustancial, lo que sugiere una mayor distribución de este uso en el territorio (en este caso principalmente los nodos de la red viaria).

## 4.2. EL ESCENARIO DE ESPECIALIZACIÓN TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL

Este escenario introduce un cambio en los patrones de ocupación más acusado que en el anterior, especialmente en el caso del uso industrial. Para este uso se produce un incremento del número de fragmentos (NP) a la vez que se eleva el tamaño medio de los mismos (AREA\_MN). Por otra parte se produce un importante incremento de la elongación (incremento del valor de GYRATE\_MN y SHAPE\_MN), lo que en conjunto sugiere unos fragmentos urbanos más alargados, algunos de los cuales se unen entre sí formando filamentos en el entorno de las principales vías, mostrando una tendencia hacia patrones lineales.

El uso comercial por su parte, muestra una mayor distribución a lo largo del territorio, que se traduce principalmente en un incremento del número de fragmentos (NP), del AREA\_MN y en una disminución de la distancia media a los fragmentos más próximos (ENN\_MN). De nuevo se sugiere una tendencia hacia un patrón nodal, con una mayor distribución a lo largo del territorio.

Para el caso del uso residencial de alta densidad se observa una mayor fragmentación y dispersión. Este hecho se pone de manifiesto a través del incremento del número de fragmentos (NP) y la disminución de su tamaño medio (AREA\_MN) y de la distancia media al fragmento más cercano (ENN\_MN). Por su parte, el SHAPE\_MN muestra unos valores que muestran unos fragmentos más cercanos a la forma del círculo, que concuerdan con una tendencia hacia el patrón de ocupación en urbanizaciones.

Finalmente para el uso residencial de baja densidad se revela un incremento de los tamaños medios (AREA\_MN) así como del MPI y el GYRATE\_MN (sensibles al tamaño de los fragmentos), a la vez que muestra una disminución del número de teselas (NP). Este hecho sugiere un leve incremento de la agregación de elementos dispersos que dan lugar a fragmentos de mayor tamaño, pero aún aislados de los demás, todavía próximos al patrón en urbanizaciones.

## 4.3. ESCENARIO DE INTENSIFICACIÓN DE LA OCUPACIÓN RESIDENCIAL

Comenzando por el suelo industrial, se puede observar para este escenario un cambio hacia un patrón más agregado, que se pone de manifiesto por la disminución del número de fragmentos (NP), un incremento del tamaño medio de los mismos (AREA\_MN), de la distancia a los fragmentos más próximos (ENN\_MN) y la disminución del MPI. La elongación (GYRATE\_MN) en este caso se ve incrementada por el fuerte aumento del AREA\_MN mostrado, debido a su influencia sobre el mismo, sin que sea especialmente relevante.

Una tendencia similar muestra el suelo comercial, ya que se pone de manifiesto un incremento del tamaño medio de fragmento (AREA\_MN) y disminución del NP (aunque muy leve). La distancia a los fragmentos más próximos (ENN\_MN), se mantiene más o menos constante.

El suelo residencial de alta densidad por su parte, al igual que en el caso del escenario tecnológico, sufre un importante proceso de fragmentación y dispersión a lo largo del territorio del AMG como consecuencia de una tendencia al patrón de crecimiento en urbanizaciones. Este hecho queda patente en el incremento del NP



y la disminución moderada del tamaño de los fragmentos (AREA\_MN) y de la distancia media al fragmento más próximo (ENN\_MN). Los valores más bajos del GYRATE\_MN y MPI se justifican por la fuerte disminución del AREA\_MN, mientras que la caída del SHAPE\_MN muestra unas formas más redondeadas propias del patrón en urbanizaciones.

Finalmente, el suelo residencial de baja densidad presenta un comportamiento un tanto más complejo de interpretar, debido a un incremento generalizado de todas las métricas a excepción de la distancia al fragmento más próximo (ENN\_MN), que se mantiene más o menos constante. En este sentido un incremento del NP y del AREA\_MN sugiere tanto un crecimiento del número de fragmentos, ocasionado por una mayor dispersión propia del patrón en urbanizaciones, como una mayor agregación. Este hecho puede estar motivado por el proceso de agregación de ciertos fragmentos urbanos al tener lugar la formación de los nuevos paquetes en urbanizaciones. En este sentido parecen apuntar también algunas de las demás métricas, como son GYRATE\_MN y el SHAPE\_MN, que muestran un incremento motivado por el aumento del tamaño medio de fragmento, o un mayor valor del MPI, debido al mayor tamaño de los fragmentos propios del patrón en urbanizaciones.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las métricas de análisis espacial se han presentado a lo largo de este trabajo como un instrumento útil en el análisis, monitorización y seguimiento de los cambios en paisajes urbanos, a través de enfoques diversos, que van desde la mera descripción de dichos paisajes, hasta su aplicación como instrumento de comparación de simulaciones de ocupaciones urbanas y de usos del suelo.

En este sentido, la aplicación presentada para el caso del Área Metropolitana de Granada, muestra cómo la selección de un conjunto de métricas propias de la ecología del paisaje resulta de utilidad para interpretar las formas de crecimiento de diferentes escenarios simulados para el horizonte temporal de 2020, detectando posibles tendencias en los patrones de crecimiento futuros.

Aplicaciones de este tipo pueden, además, ser de gran utilidad en el ámbito de la planificación metropolitana, puesto que es posible su empleo como instrumentos de monitorización de cambios en observatorios de cambio metropolitano (Keiner y Arley, 2007), su implementación como indicadores en planes de ordenación del territorio o planes generales de ordenación urbana más flexibles y que operen a través de fases o etapas; su aplicación como instrumento de valoración de escenario futuros (Van Beusekom, 2003; Franco et al, 2005; Aguilera, 2008); o su utilidad para mejorar los resultados de los modelos de simulación (Alberti y Waddel, 2000; Berling-Wolf y Wu, 2004; Li et al, 2008); cuestiones todas ellas de importancia en este ámbito de conocimiento.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto SIMURBAN del Ministerio de Educación y Ciencia (MEC España) a través de la convocatoria de 2006 de proyectos del Plan nacional de Investigación científica, Desarrollo e Innovación 2004-2007,

Programa nacional de Ciencias Sociales, Económicas y Jurídicas (Referencia SEJ2007-66608-C04-00/ GEOG).

## 7. REFERENCIAS

- AGUILERA, F. (2006). “Predicción del crecimiento urbano mediante SIG y modelos basados en AC”. *Geofocus*, nº 6, p. 86-112
- AGUILERA, F. (2008). *Análisis espacial para la ordenación eco-paisajística de la Aglomeración Urbana de Granada*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 303 p.
- ANTROP, M. (2000.) “Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe”. *Landscape Ecology*, nº 15, p. 257-270.
- ANTROP, M. (2001): “The language of landscape ecologists and planners. A comparative content analysis of concepts used in landscape ecology”. *Landscape and Urban Planning*, nº 55, p 163-173.
- ALBERTI, M. (1999). “Urban Patterns and environmental performance: what do we know?” *Journal of Planning Education and Research*, nº 19 (2), p. 151–163
- ALBERTI, M. y WADDELL, P. (2000) “An integrated urban development and ecological simulation model”. *Integrated Assessment*, nº 1, p. 215–227
- ALBERTI, M. y MARZLUFF, J. (2004) “Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions”. *Urban Ecosystems*, nº 7, p. 241-265
- BERLING-WOLF, S. Y WU, J. (2004) “Modelling urban landscape dynamics: A case study in Phoenix, USA”. *Urban Ecosystems*, nº 7, p 215-240.
- BETTINI, V., GIANONI, P., DI NOTO, F., STEVANIN, M., y ZANNIN, D. (2001). Landscape ecology e la teoria della percolazione in ecologia urbana: un’applicazione alla revisione di un PRG: il caso Pozzallo, Ragusa”. *Bolonia, Arpa Ecosistemi Urbani*, 2001.
- BETTINI, V. ; BISELLO, A.; FARINA, A. y ROSNATI, C. (2006). *Landscape and Sustainability*. Congreso “Metropolitan and Capital Regions Spatial Planning: State of the Art”, Madrid, 30 p.
- BOSQUE, J, y GARCÍA, R.C (2000) “El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial”. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, nº 20, p 49-67.
- BOTEQUILHA, A y AHERN, J. (2002) “Applying landscape concepts and metrics in sustainable landscape planning”. *Landscape and Urban Planning*, nº 59, p 65-93.
- BOTEQUILHA, A.; MILLER, J.; AHERN, J. y MCGARIGAL, K. (2006) *Measuring Landscapes. A planner’s handbook*. Washington, Island Press, 245 p.
- CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES. (1999). *Plan de Ordenación del Territorio de la Aglomeración Urbana de Granada*. Sevilla, Junta de Andalucía, 568 p.
- DALDA, J. A; DOCAMPO, M. G. y HARGUINDEY, J. G. (2006) *La Ciudad Difusa en Galicia*. Conselleria de Política territorial, Obras públicas y transporte, Santiago. 126 p.

- DIBARI, J. (2007). "Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA". *Landscape and Urban Planning*, nº 79, p 308-313.
- DRAMSTAD, W.E; OLSON, J.D Y FORMAN, R.T.T. (1996) *Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning*. Island Press, Harvard, 80 p
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2006) *Urban Sprawl in Europe*. EEA Report N°10/2006, Ispra, 110 p.
- FERNÁNDEZ, D. (2004) "Bases para la evaluación ambiental y territorial del Área Metropolitana de Granada". *Congreso Nacional de Medio Ambiente*, Madrid.
- FONT, A. (2004) *L'explosió De La Ciutat*. COAC i Fòrum Universal de les Cultures de Barcelona, Barcelona, 424 p
- FORMAN, R.T.T. Y GODRON, M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, Nueva York, 619 p.
- FORMAN, R. T. T. *Land Mosaics: The Ecology Of Landscapes And Regions*. Cambridge University Press, Cambridge, 632 p.
- FRANCO, D.; BOMBONATO, A.; MANNINO, I.; GHETTI, P.F. y ZANETTO, G. (2005) "The evaluation of a planning tool through the landscape ecology concepts and methods". *Management of Environmental Quality: An International Journal*, nº 16 ( 1), p. 55-70.
- GALSTER, G.; HANSON, R.; RATCLIFFE, M.R.; WOLMAN, H.; COLEMAN, S. y FREIHAGE, J. (2001) "Wrestling Sprawl to the ground. Defining and Measuring an Elusive Concept." *Housing Policy Debate*, nº 12 (4), p. 681-717.
- GEOGHEGAN, J; WAINGER, L.A y BOCKSTAEL, N, E. (1997). "Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS". *Ecological Economics*, nº 23, p. 251-264.
- GUSTAFSON, E. J., Y PARKER, G.R. (1994) "Using an index of habitat patch proximity for landscape design". *Landscape and Urban Planning*, nº 29, p. 117-30.
- GUSTAFSON, E.J. (1998) "Quantifying Landscape Spatial Pattern: What is the State of the Art?" *Ecosystems*, nº 1, p. 143-156.
- HERZOG, F. Y LAUSCH, A. (2001). "Supplementing land use statistics with landscape metrics: some methodological considerations". *Environmental Monitoring and Assessment*, nº 72, p. 37-50.
- HEROLD, M; GOLDSTEIN, N. C y CLARKE , K. C. (2003). "The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling". *Remote Sensing of Environment*, nº 86, p. 286-302.
- HEROLD, M; COUCLELIS, H, y CLARKE K.C. (2005) "The role of spatial metrics in the analysis and modelling of urban land use change". *Computer and Environment Systems*, nº 29, p. 369-399.
- INDOVINA, F. (2005). *L'esplosione della città*. Ed Compositori, Bologna, 240 p.
- JONGMAN, R.H.G (2004) *The new dimension of the European Landscape*. Ed Springer, Dordrecht.

- KASANKO, M.; BARREDO, J.I.; LAVALLE, C.; MCCORMICK, I.; DEMICHEL, L.; SAGRIS, V. y BREZGER, A. (2006) "Are European cities becoming dispersed? A comparative analysis of 15 European urban areas". *Landscape and Urban Planning*, nº 77, p. 111-130.
- KEINER, M. y ARLEY, K. (2007) "Transnational city networks for sustainability. *European Planning Studies*", nº 15 (10), p. 1368 – 1395
- KONG, F; YIN, H y NAKAGOSHI, N. (2007) "Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: A case study in Jinan City, China". *Landscape and Urban Planning*, nº 79, p 240–252.
- LI, X.; YANG, Q. y LIU, X. (2008) "Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata". *Landscape and Urban Planning*, nº 86, p 177 – 186.
- MATEUCCI, S. D. y SILVA, M. (2005) "Selección de métricas de configuración espacial para la regionalización de un territorio antropizado". *GeoFocus*, nº 5, p. 180-202.
- MCGARIGAL, K., y MARKS, B. J. (1995) *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for Quantifying Landscape Structure*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351.
- MCGARIGAL, K., S. A. CUSHMAN, M. C. y NEEL, E. (2002): FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps, [www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html) (Último acceso en Octubre 2010)
- MENOR, J. (2000) *La Vega de Granada: transformaciones agrarias recientes en un espacio periurbano*. Ed Universidad de Granada, Granada, 504 p.
- MINISTERIO DE VIVIENDA. (2006) *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España 2004*. Ministerio de Vivienda, Madrid, 226 p.
- MONCLÚS, F. J. (1998) *La Ciudad Dispersa*. Centre cultural contemporánea de Barcelona, Barcelona, 223 p.
- O'NEILL, R.V., KRUMMEL, J.R., GARDNER, R.H., SUGIHARA, G., JACKSON, B.L., DEANGELIS, D.L., MILNE, B.T., TURNER, M.G., ZYGMUNT, B., CHRISTENSEN, S.W., DALE, V.H. y GRAHAM, R.L. (1988) "Indices of landscape pattern". *Landscape Ecology*, nº 1(3),p 153-162.
- RIITTERS, K.H., O'NEILL, R.V., HUNSAKER, C.T., WICKHAM, YANKEE, D.H., TIMMINS, S.P., JONES, R.B. y JACKSON, B.L. (1995). "A factor analysis of landscape pattern and structure metrics". *Landscape Ecology*, nº 10(1), p 23-39.
- SENES, G. y TOCCOLINI, A. (2004) "Sustainable land use planning and valorisation of the natural and cultural resources in the metropolitan area of Milan (Italy)". En TRESS, G; TRESS, B; HARMS, B; SMEETS, P Y VAN DER VALK, A (Eds) *Planning Metropolitan Landscapes: Concepts, Demands, Approaches*, Delta Series, nº4, Wageningen 287 p.
- SONG, Y. y KNAAP, G.J (2004) "Measuring Urban Form. Is Portland winning the War on Sprawl?" *Journal of the American Planning Association*, nº. 70 (2), p 210-225.
- SOTELO, J.A. (1991) Paisaje, semiología y análisis geográfico. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, nº 11, p 11-23.

- TURNER, M.G. (2005) "Landscape Ecology: What is the state of the science"? *Annu.Rev Evol. Syst*, nº 36, p 319-344.
- VAN BEUSEKOM, R. (2003) *Livability and Sustainability Indicators for Land-Use Models; Potential Use of Pattern-Describing Indicators for Spatial Planning*. University of Utrecht, Msc Thesis, 350 p.
- VALENZUELA, L.M; AGUILERA, F; SORIA, J.A y MOLERO, E. (2008) "Designing and assessing of development scenarios for metropolitan patterns". En Paegelow, M. y Camacho, M.T (eds.): *Modelling Environmental Dynamics*, Ed Springer-Verlag, Berlín, 390 p.