

Valoración de escenarios futuros a través de la conectividad del paisaje

*F AGUILERA BENAVENTE y R. TALAVERA GARCÍA

Área de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Granada.

*franab@ugr.es

Recibido: 7 de septiembre de 2009

Aceptado: 28 de Septiembre de 2009

RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología SIG de valoración de la conectividad del paisaje aplicada a la valoración de escenarios futuros para el Área Metropolitana de Granada. Esta metodología será empleada para realizar un análisis comparado de las pérdidas de conectividad que los tres escenarios introducen unos con respecto a otros y se revela, junto con la generación de escenarios futuros como un instrumento útil para ayudar en la toma de decisiones en lo que respecta a las formas, lugares e intensidades del crecimiento urbano.

Palabras clave: Conectividad del paisaje, evaluación, escenarios, Área Metropolitana

Future scenario assessment through landscape connectivity

ABSTRACT

This paper presents a GIS methodology to assess landscape connectivity through urban growth scenarios in the Metropolitan Area of Granada. This methodology will be useful to assess landscape connectivity loss in a compared evaluation of the scenarios. Thus, this evaluation will be show as a useful tool, combined with the scenario simulation, to help in the metropolitan decision making process.

Keywords: Landscape connectivity, assessment; scenarios, Metropolitan Area.

1. INTRODUCCIÓN: ECOLOGÍA DEL PAISAJE Y CONECTIVIDAD ECOLÓGICA EN LA VALORACIÓN DEL CAMBIO METROPOLITANO

Una de las múltiples dimensiones del cambio global es la transformación y cambios que tienen lugar en nuestras ciudades y áreas metropolitanas (Ministerio de Vivienda, 2006; EEA, 2006, OSE, 2006) que modifican en ocasiones de forma sustancial su relación con el entorno que le da soporte (Botequilha, Miller, Ahern, y McGarigal, 2006) y que conlleva en múltiples ocasiones su deterioro (EEA, 2006) y fragmentación (Hidden y Teunissen, 2002). Uno de los ejemplos de este deterioro de los ecosistemas y paisajes sobre los que se producen los crecimientos metropolitanos es el caso de la conectividad ecológica de los paisajes periurbanos, especialmente de aquellos que presentan unos valores ambientales y ecológicos importantes y que por tanto son especialmente sensibles.

La ecología del paisaje, preocupada por el estudio del cambio, estructura y funciones de los paisajes (Forman, 1995; Burel y Baudry, 2002), proporciona un conjunto de instrumentos útiles en la planificación de áreas metropolitanas (Botequilha et al, 2006). Uno de estos instrumentos es el concepto de la conectividad ecológica (Turner, Gadner y O'Neill, 2001). Entendida como el grado en el que el paisaje facilita o impide los flujos ecológicos (McGarigal y Marks, 1995); de energía, materiales, nutrientes, especies y personas (Botequilha et al, 2006) o como el inverso de la resistencia del paisaje a la existencia de los citados flujos ambientales (Forman, 1995), la conectividad ecológica constituye un ejemplo paradigmático de la relación existente entre la estructura del paisaje (esto es, su composición, forma, etc.) y las funciones ecológicas que dicho paisaje mantiene (Burel y Baudry, 2002).

Desde este punto de vista, y asumiendo el papel de la conectividad como ejemplo de la relación entre estructura y función de los paisajes, es interesante pensar en ella como un excelente indicador de las alteraciones en las funciones del paisaje que se producen con motivo de diferentes formas y patrones de cambio metropolitano (Font, 2004; Deng, Wang, Hong y Qi, 2009). No en vano, el mantenimiento de la conectividad ecológica en el territorio se ha ido perfilando como un objetivo de las políticas de conservación de la naturaleza (Sastre, De Lucio y Martínez, 2002) lo que ha facilitado la proliferación de múltiples trabajos que pretenden determinar y cartografiar esta variable (Sastre et al, 2002; Vuilleumier y Prelaz-Droux, 2002; Marull y Mallarach, 2005 y 2006; Aguilera 2008, entre otros)

Así pues, la conectividad del paisaje podría constituirse como una herramienta útil para la determinación y valoración de los cambios introducidos por diferentes formas o modelos de desarrollo metropolitano, permitiendo valorar el grado de afectación introducida por dichos crecimientos sobre los paisajes que los soportan.

En este sentido, en este artículo se presenta una metodología de valoración de la conectividad paisajística que toma como base los trabajos de Marull y Mallarach (2005 y 2006), aplicada al ámbito de estudio del Área Metropolitana de Granada, con especial énfasis en su utilidad para valorar los cambios en el paisaje metropolitano. Para ello se dispone de tres escenarios futuros simulados para el año 2020, para los que se realizará un análisis comparado de la conectividad paisajística, que permitirá mostrar áreas especialmente sensibles a los crecimientos urbanos,

y podrá ser empleado como instrumento para diseñar nuevos escenarios y propuestas de crecimiento futuras que contemplen el funcionamiento y estructura de los paisajes periurbanos.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El Área de Metropolitana de Granada (Figura 1), tradicionalmente denominada comarca de la Vega de Granada, con una superficie de 859,34 km² 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 agroproductivo (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 de interés para mostrar el interés de estas métricas de análisis espacial en la descripción e identificación de los patrones y formas de crecimiento.

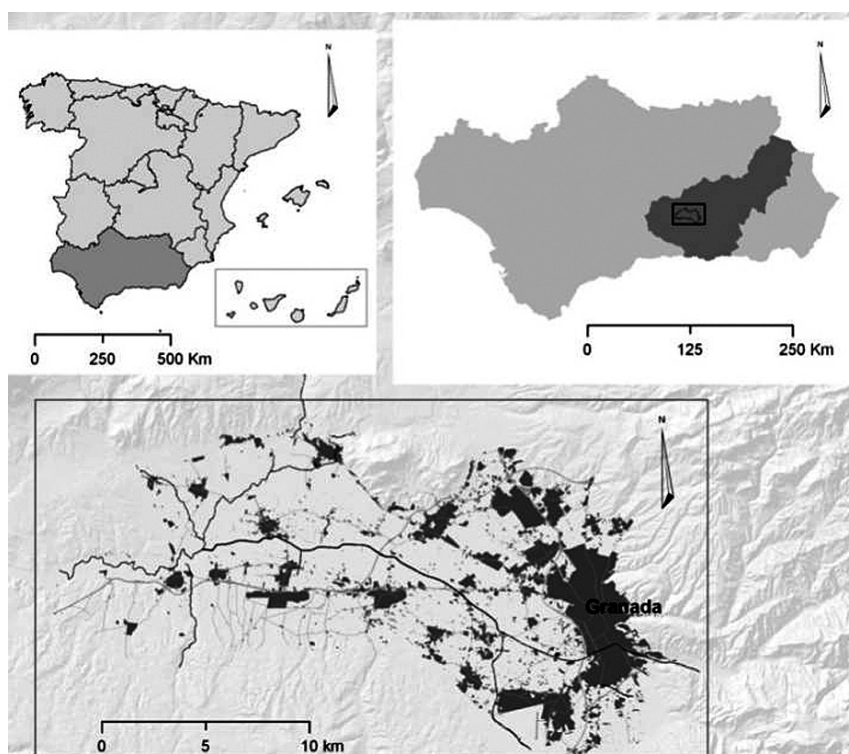


Figura 1. Área Metropolitana de Granada

3. METODOLOGÍA: LA CONECTIVIDAD FUNCIONAL DEL PAISAJE PARA LA VALORACIÓN DE LOS ESCENARIOS

En primer lugar, es necesario señalar en primer lugar que la valoración de la conectividad se puede abordar desde diversos puntos de vista (McGarigal y Marks, 1995; Tischendorf y Fharig, 2000), por lo que es necesario seleccionar alguno de los existentes, sobre el que poder desarrollar de manera precisa la metodología a implementar.

Los dos enfoques básicos son:

El enfoque de la conectividad denominada “estructural”, el cual únicamente hace referencia a la continuidad espacial que los distintos usos del suelo presentan en un mismo paisaje (McGarigal y Marks, 1995; Bierwagen, 2007). Este enfoque considera que los hábitats contiguos, si se encuentran físicamente conectados (o al menos por debajo de una distancia umbral) garantizan la conectividad, mientras que si se fragmentan y la distancia entre los mismos supera la citada distancia umbral, dicha conectividad se interrumpe.

El enfoque de la conectividad “funcional” que entiende la conectividad como el grado en el que el paisaje facilita la interacción de los flujos ecológicos. Para medir la este enfoque emplea generalmente métodos apoyados en SIG que principalmente están basados en (McGarigal y Marks, 1995): funciones de la distancia, los cuales reflejan la probabilidad de conexión de los distintos hábitats a una distancia dada (Pe’er, Heinz, y Frank, 2006; Jordán, Magura, Tóthmérész, Vasas y Ködöböcz, 2007); y en funciones de distancia ponderada, de tal forma que la conectividad se obtiene a través del empleo de caminos mínimos en una superficie de fricción que refleje los costes ecológicos de desplazamiento (Vuilleumier y Prélaz-Droux, 2002; Adriaensen, Chardon, De Blust, Swinnen, Villalba, Gulinck y Matthysen, 2003; Marull y Mallarach, 2005, 2006).

Éste último método ha sido el seleccionado para implementar en este trabajo, puesto que permite representar de forma más realista el comportamiento del paisaje a este respecto (Adriaensen et al, 2003). Básicamente, la metodología consiste en la estimación de una superficie de fricción mediante instrumentos SIG, que muestre la resistencia del paisaje a los flujos del paisaje, que será empleada para calcular, mediante un algoritmo de coste distancia, los costes de desplazamiento acumulados para alcanzar un conjunto de lugares de interés para la conectividad, tales como fuentes o reservorios de biodiversidad (Nikolakaki, 2004; Somma, 2006) que se denominarán áreas fuente. De esta forma, el inverso de los costes de desplazamiento puede ser considerado el grado de conectividad paisajística del ámbito de estudio

Así pues la metodología de estimación de la conectividad paisajística, queda resumida en los siguientes puntos:

- Estimación de la superficie de fricción.
- Identificación de las áreas fuente
- Aplicación del algoritmo de coste distancia para la estimación de la conectividad

3.1. LA ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE DE FRICCIÓN PAISAJÍSTICA

La superficie de fricción mostrará la resistencia del paisaje y territorio al desplazamiento de los flujos ambientales existentes en él. Para construir dicha superficie, y siguiendo el esquema propuesto por Marull y Mallarach (2005, 2006) se han empleado dos componentes:

En primer lugar se han tenido en cuenta los efectos de afinidad o de similitud ecológica o paisajística entre los diferentes ecosistemas o usos del suelo (Sastre et al, 2002) que componen el ámbito de estudio. Esta afinidad representa la facilidad con la que los flujos y procesos ambientales propios de un determinado ecosistema o uso, pueden tener lugar a través de los demás

En segundo lugar se han valorado los elementos de barrera (Tischendorf y Fahrig, 2000), entendidos como aquellos elementos que suponen un impedimento para el movimiento de los flujos ambientales (Forman, 2000; Bettini, Gianoni, Di Noto, Stevanin y Zannin, 2001; Vuilleumier y Prélaz-Droux, 2002; Matarán, 2005), así como la afectación que generan sobre las zonas cercanas. La presencia de estos elementos supone una ruptura o disminución de la conectividad del paisaje (piénsese en una carretera, por ejemplo).

3.1.1. LA SUPERFICIE DE FRICCIÓN POR AFINIDAD DE USOS DEL SUELO

Para la construcción de la superficie de fricción por afinidad de usos del suelo, es necesario establecer el grado de similitud o equivalencia ecológica existente entre los diferentes usos del suelo que existen en el paisaje agrario del Área Metropolitana de Granada.

Así pues, este método, empleado por Marull y Mallarach (2005, 2006), consiste en generar una tabla de doble entrada en la que se exprese el grado de afinidad o de similitud ecológica entre unos usos del suelo y otros. Este valor de afinidad es un valor numérico denominado Coeficiente de Afinidad, que se asigna en función del conocimiento de la ecología de cada uno de los usos del suelo-ecosistemas y su similitud con los demás, y que por tanto puede cambiar en función de una interpretación u otra. En cualquier caso, y para tratar de demostrar este hecho, en trabajos previos (Talavera, 2007) se han repetido los análisis cambiando los valores de afinidad en ± 0.2 , observándose que no existe una variación significativa de los resultados, por lo que se han aceptado los siguientes valores propuestos:

A partir de estos valores de afinidad, se pueden estimar unos valores de resistencia o costes de desplazamiento de unos ecosistemas con respecto a otros, que representarían la dificultad de desplazamiento de las especies y flujos ambientales de unos ecosistemas a través de otros. Estos costes, que constituyen la Matriz de Costes de Movimiento Ecológico, se pueden observar en la tabla 1 y se han obtenido aplicando una sencilla transformación inversa.

A partir de esta matriz de costes de movimiento ecológico podemos generar una cartografía de costes ecológicos para cada uno de los ecosistemas, De esta forma tendríamos diversas superficies o cartografías de costes ecológicos cada una referida a

USO	Regadío 1	Regadío 2	Olivar	Chopera	Frutales	Erial
Regadío 1	0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,5
Regadío 2	0,2	0	0,6	0,4	0,4	0,5
Olivar	0,6	0,6	0	0,5	0,2	0,6
Chopera	0,4	0,4	0,5	0	0,3	0,7
Frutales	0,4	0,4	0,2	0,3	0	0,6
Erial.	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0

Tabla 1: Matriz de Costes de Movimiento Ecológico

un uso diferente. Finalmente, y para obtener una superficie de fricción global, se lleva a cabo una suma ponderada de todas las superficies de costes por uso del suelo empleando como ponderación la superficie de cada uso (Figura 2)

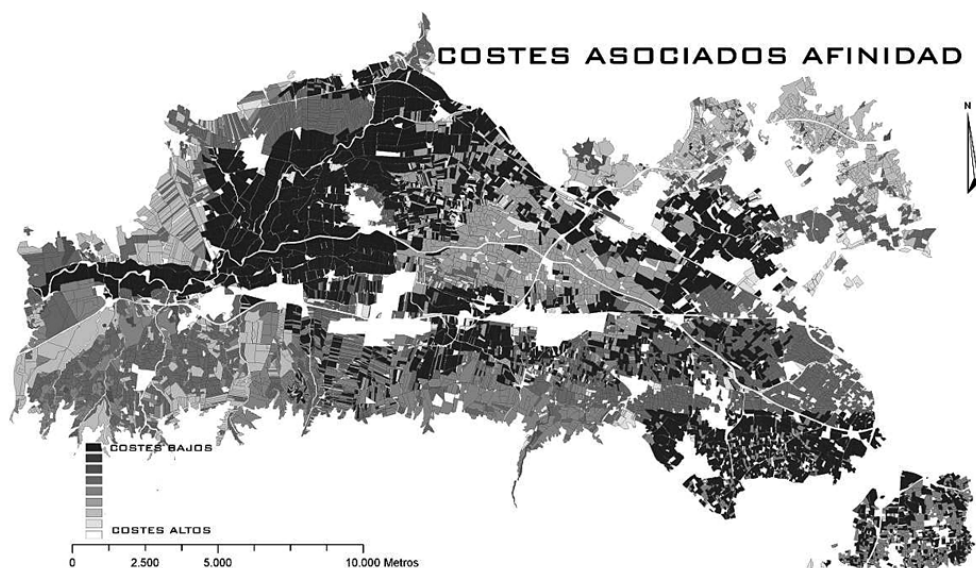


Figura 2: Componente de afinidad de usos del suelo de la superficie de fricción paisajística.

3.1.2 LA SUPERFICIE DE FRICCIÓN POR AFECTACIÓN DE BARRERAS

La otra componente de la superficie de fricción paisajística es la superficie de fricción por afectación de barreras, que representa el obstáculo que ciertos elementos (infraestructuras, zonas urbanas, etc.) suponen para la difusión de los flujos ambientales y ecológicos (Matarán, 2005).

Así pues, la generación de la superficie de afectación por barreras parte de la identificación de un conjunto de elementos de barrera, para cada uno de los cuales se asignará un valor de barrera, que muestre la medida en que dicho elemento supone un obstáculo a los flujos ambientales, así como una distancia máxima de afectación por la barrera que supone la distancia máxima de influencia de la barrera. La tabla 2 muestra los elementos de barrera seleccionados junto con el valor de barrera y la distancia

máxima de afectación. Para la asignación de dichos valores de barrera, se ha empleado una escala que varía de 0 a 100 asignando un valor máximo para aquellos elementos de mayor impacto sobre los flujos ambientales (Marull y Mallarach, 2005) (vías principales y zonas urbanas) y valores más bajos para el resto de categorías.

Por su parte, para el caso de la determinación de la distancia máxima de afectación, se han recurrido a los valores disponibles en la bibliografía, en lo que respecta a la afectación de diferentes elementos perturbadores de los flujos paisajísticos. Así por ejemplo en Bettini et al (2001) se estiman unos valores de afectación de en torno a 150 metros para el municipio Italiano de Pozzalo, para infraestructuras lineales y área urbanas. En Forman (2000) se proponen valores de en torno a 200 metros para infraestructuras lineales de tamaño medio, o en Matarán y Aguilera (2006) se emplean valores de hasta 250 m para las zonas urbanas e infraestructuras de mayor capacidad.

Aplicando una ley de decaimiento lineal para los valores de barrera a lo largo de la distancia máxima de afectación de cada elemento, es posible cartografiar la afec-

Elementos de barrera	Valor del efecto de barrera	Distancia de afectación máxima
Zonas Urbanas	100	200
Zonas Urbanas Dispersas	50	100
Vías principales de comunicación	100	250
Vías secundarias de comunicación	75	100
Red ferroviaria	50	50
Laminas de agua	75	0

Tabla 2: Elementos de barrera, valor de barrera y distancia máxima de afectación.

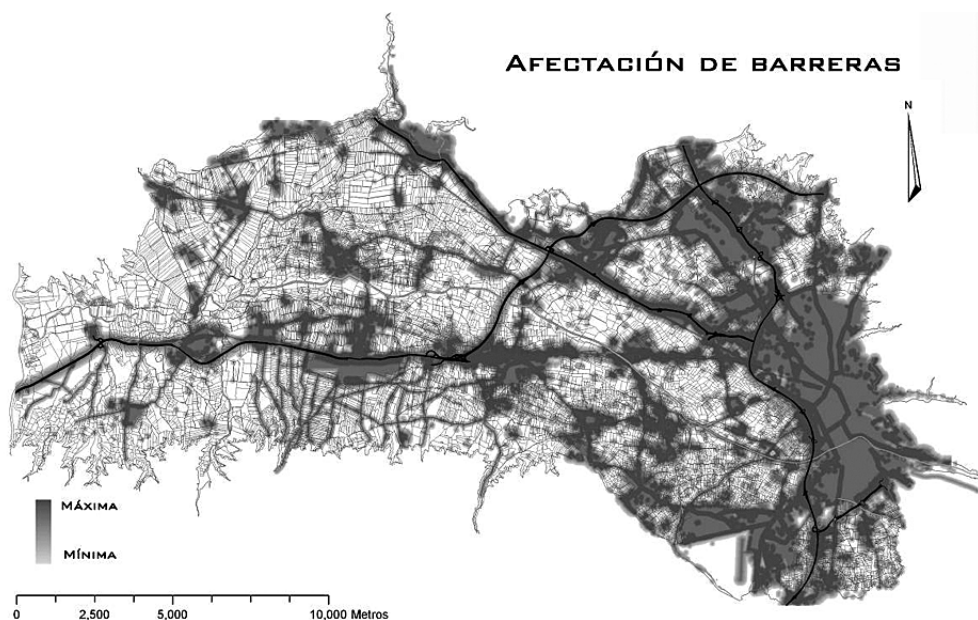


Figura 3. Componente de barreras para la superficie de fricción paisajística.

tación por barreras (figura 4), que junto con la afinidad paisajística constituirá la superficie de fricción.

3.2. LA SELECCIÓN DE LAS ÁREAS FUENTE

La identificación y selección de las áreas fuente juega el papel de establecer un conjunto de lugares objetivo para la determinación de la conectividad, que serían aquellos lugares que actúan como los núcleos de difusión de los valores ambientales y eco-paisajísticos del ámbito de estudio (Dramstad, Olson y Forman, 1997)

Para identificar dichos lugares se han seleccionado aquellas áreas de los distintos usos del suelo que presentan una superficie suficiente (Vuilleumier y Prélaz-Droux, 2002, Adriaensen et al, 2003). Aquellas áreas altamente fragmentadas, con superficies reducidas, no mantienen las características propias de los ecosistemas existentes en ese tipo de uso (Dramstad et al, 1997), debido a que son frágiles a las perturbaciones antrópicas existentes (Forman y Godron, 1986, Forman, 1995), mientras que aquellas otras con un tamaño mayor, permitirán mantener las características ecológicas ideales propias del uso en cuestión. Estas áreas con una superficie suficiente serán catalogadas como áreas fuente. Su identificación atiende pues a criterios de superficie principalmente (Nikolakaki, 2004), aunque otros muchos factores podrían ser incorporados, tales como la compacidad, forma, características de sus bordes, etc (Dramstad et al, 1997).

En cualquier caso, trabajos previos como los de Jongman (1995); García (2002); Nikolakaki (2004) o Marull y Mallarach (2005) muestran que la superficie es un criterio lo suficientemente válido. En este sentido, la tabla 3 muestra los valores de superficies mínimas empleadas en estos trabajos.

A la vista de estos valores, se ha establecido que para un área de estudio de tamaño subregional, como es la AUG, una superficie mínima de 100 ha es suficiente para seleccionar las áreas fuente de cada uno de los usos del suelo (Figura 4). En general,

Trabajo	Ámbito	Tamaño Áreas Fuente o Core areas
Marull Y Mallarach (2005, 2006)	Área Metropolitana de Barcelona	50-200 ha en función del tipo de uso, ya sea agrícola, forestal, etc.
Sastre, De Lucio & Martínez (2002)	Comunidad de Madrid	Espacios de la red Natura 2000
García (2002)	Comunidad Foral de Navarra	250-1000 ha
Nikolakaki (2004)	Condado de Nottinghamshire (Reino Unido)	>50 ha de zonas arboladas >10 ha para bosques de alto valor
Jongman (1995)	Holanda	250 ha
Jongman (1995) ⁱ	Provincia de Noord Bravant (Holanda)	50 ha

Tabla 3: Identificación de áreas fuente en función de sus superficies en diversos trabajos previos

ⁱ En este trabajo se lleva a cabo una comparativa de las redes ecológicas de diversos países y los tamaños de las áreas núcleo o fuente empleados y por ello se presentan dos de las experiencias en él presentadas.

se puede señalar que las áreas de mayor tamaño se encuentran en la zona agrícola occidental, debido a su menor fragmentación, mientras que en la zona oriental, más metropolizada, su tamaño disminuye, a excepción de algunas de las situadas justo al oeste de la ciudad de Granada.

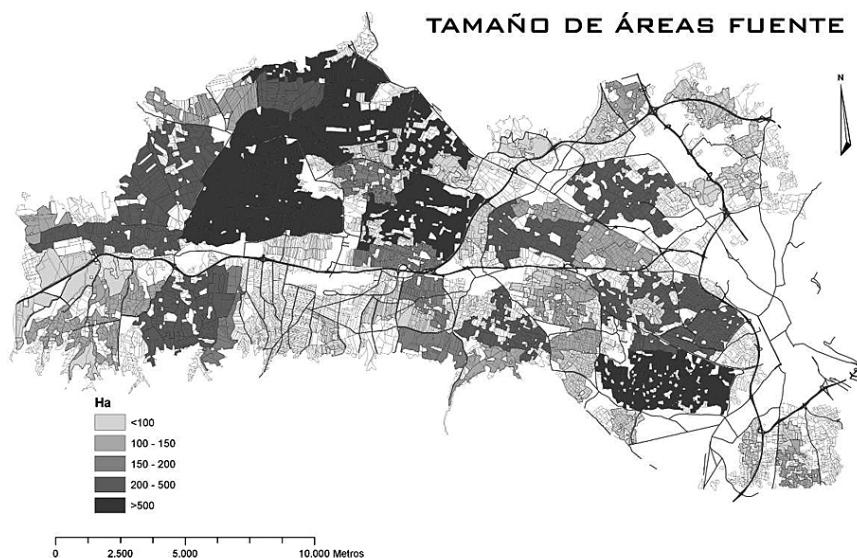


Figura 4: Superficie de las áreas fuente seleccionadas

3.3. LA APLICACIÓN DEL ALGORITMO COSTE DISTANCIA. EL MAPA DE CONECTIVIDAD

A partir de la superficie de fricción construida, y empleando como objetivos las áreas fuente seleccionadas y un algoritmo coste distancia implementado en un SIG, se ha obtenido la cartografía de conectividad paisajística. Esta cartografía tiene un valor principalmente relativo, y como tal será empleada en la comparación de los diferentes escenarios. Es por ello que no se profundizará en el comentario de los valores de conectividad para la situación actual (Figura 5) que, en cualquier caso muestra algunas diferencias entre las zonas del ámbito, especialmente entre los valores para la zona oriental, y la occidental, presentando unos valores más elevados debido a su menor fragmentación, por encontrarse en la zona menos metropolizada.

3.4. LOS ESCENARIOS FUTUROS A VALORAR

Presentada la metodología para la estimación de la conectividad paisajística, a continuación se introducen los tres escenarios simulados para los cuáles se realizará el análisis comparado.

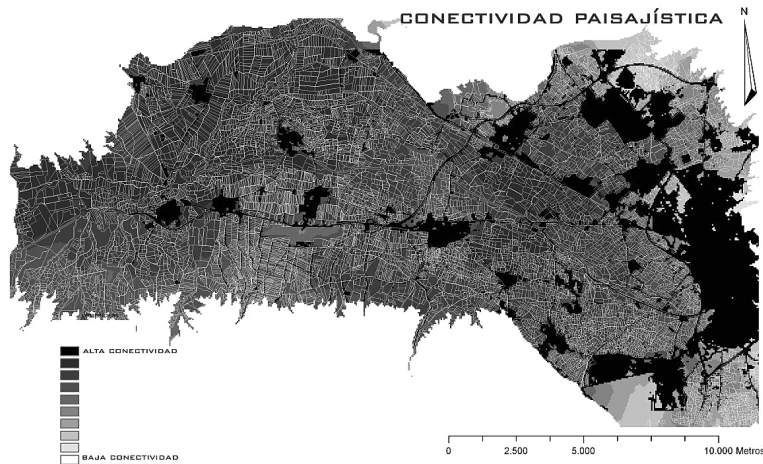


Figura 5. El mapa de conectividad actual para el área metropolitana de Granada.

Así, para el ámbito de estudio del Área Metropolitana de Granada, y en el contexto de diversos trabajos previos de simulación (Aguilera, 2006; Aguilera, 2008; Valenzuela, Aguilera, Soria y Molero, 2008) se dispone de tres escenarios futuros de posibles tendencias de crecimiento urbano, con un horizonte temporal del año 2020. Estos escenarios tratan de mostrar de forma conceptual posibles tendencias de crecimiento y desarrollo de la AUG, a través de la representación de diferentes intensidades, formas y tendencias de crecimiento urbano.

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. Además de diferentes intensidades y formas de ocupación simuladas para cada escenario, igualmente se ha incluido para el escenario de intensificación de la ocupación residencial, y para el de especialización tecnológica el trazado de una nueva vía de alta capacidad metropolitana prevista en el Plan de Ordenación del Territorio existente, mientras que dicha vía no se ha incluido en el escenario de contención.

La figura 6 muestra las simulaciones generadas para cada uno de ellos para cada una de las cuáles se realizarán los análisis de conectividad del paisaje periurbano.



Figura 6: Simulaciones generadas para los escenarios futuros en el año 2020 a valorar a través de las métricas de análisis espacial.

4. RESULTADOS: LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA COMO INSTRUMENTO DE COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS FUTUROS

Para llevar a cabo la comparación de los tres escenarios introducidos empleando la metodología de la conectividad del paisaje, se ha recurrido a dos métodos:

En primer lugar se ha llevado a cabo la comparación de los valores de conectividad de parejas de escenarios mediante la valoración del cambio existente entre ellos en porcentaje, empleando operaciones de álgebra de mapas. Este análisis se ha repetido para cada una de las tres posibles combinaciones de dos escenarios existentes: contención vs tecnológico, contención vs incremento residencial y tecnológico vs incremento residencial. A través de esta valoración se presentará una perspectiva global de la utilidad de la conectividad del paisaje para valorar los diferentes impactos introducidos sobre el paisaje.

En segundo lugar, se ha abordado la comparación igualmente de cada par de escenario través de la realización de un transecto a lo largo del río Genil, como principal elemento articulador del paisaje, en el que se muestran las diferencias entre los dos escenarios, de los costes de desplazamiento como inverso de la conectividad. Así se podrán observar los incrementos de la presión urbana introducidos por cada escenario sobre uno de los principales elementos de la estructura del paisaje del ámbito de estudio.

4.1. LA COMPARATIVA DE LOS ESCENARIOS MEDIANTE ÁLGEBRA DE MAPAS

La figura 7 muestra los resultados de la comparación de cada pareja de escenarios, mostrando el % de pérdida de conectividad que supone un escenario con respecto a otro, así como las zonas de mayor pérdida.

Para la primera pareja de escenarios (A) es posible apreciar la mayor disminución de la conectividad de las tres parejas de escenarios, en este caso del escenario de intensificación de la ocupación urbana frente al escenario de contención. Especialmente interesantes son las pérdidas asociadas a la nueva vía metropolitana (centro) que no se encuentra incluida en el escenario de contención, y en las zona Sur y Norte, como consecuencia de un mayor crecimiento residencial para el escenario de incremento de la ocupación.

La segunda pareja de escenarios (B) revela como el escenario de especialización tecnológica genera una disminución acusada de la conectividad en el paisaje con respecto al del escenario de contención. Sin embargo, la pérdida es menos acusada que para el mapa (A). Las principales pérdidas se observan igualmente en el entorno de la nueva vía metropolitana, también incluida en el escenario tecnológico, así como en la zona Norte, en la que diversos desarrollos industriales contemplados en el este escenario supone una pérdida de la conectividad con respecto al escenario de contención.

Finalmente, la última de las parejas de escenarios a comparar es la compuesta por el escenario tecnológico y el escenario de incremento residencial (C). El interés principal de esta comparación reside en valorar el grado de influencia de nueva vía

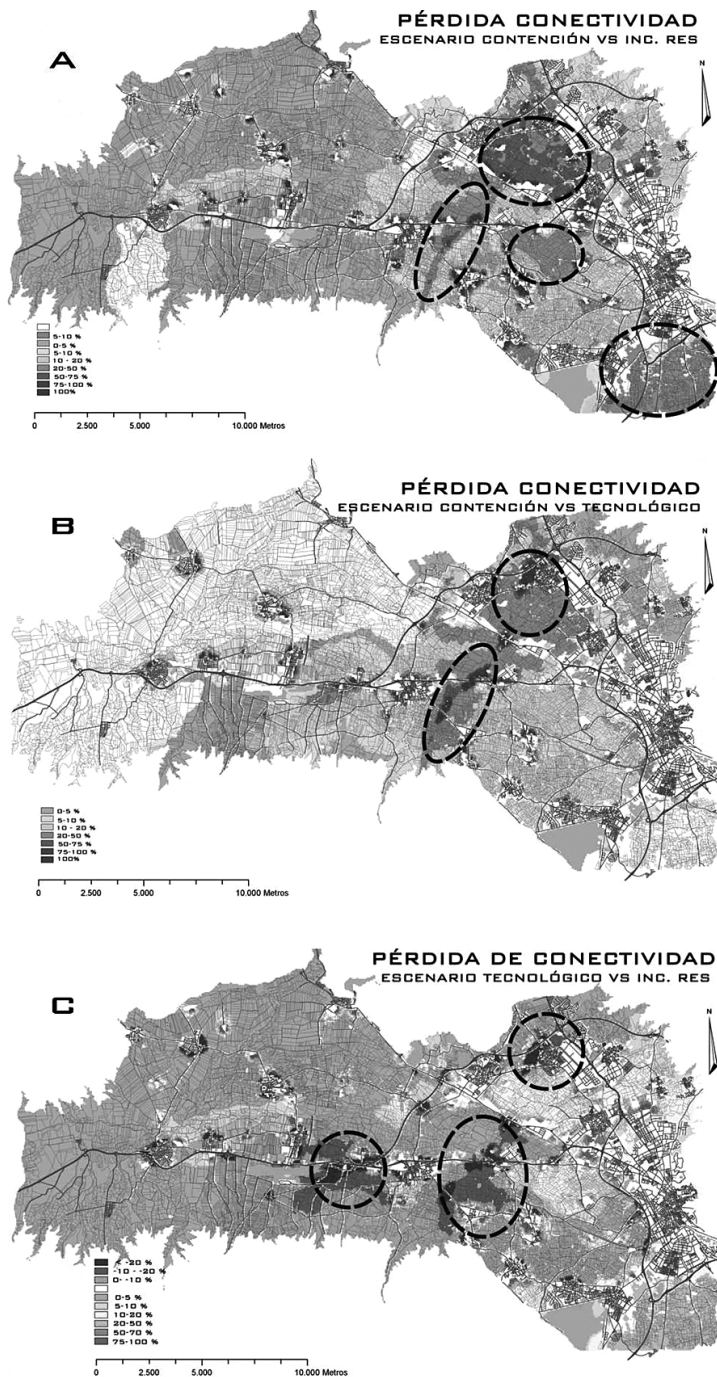


Figura 7: Comparativa de conectividad para cada pareja de escenarios.

metropolitana, la cual está presente en ambos escenarios, y que suponía una disminución de conectividad con respecto al escenario de contención. Los resultados muestran una mayor pérdida del escenario tecnológico en el entorno de la nueva vía, puesto que en ella este escenario acumulaba múltiples crecimientos industriales y comerciales, así como en uno de los nodos preexistentes al oeste de la misma. Sin embargo para la mayor parte del resto del ámbito las pérdidas son más acusadas para el caso del escenario de incremento de la ocupación residencial, que presentaba una mayor ocupación urbana a lo largo del todo el ámbito.

4.2. LA COMPARATIVA A TRAVÉS DE LOS TRANSECTOS DE CAMBIO EN LOS COSTES DE DESPLAZAMIENTO

En esta segunda comparativa, se mostrará a lo largo del transecto del río Genil, las diferencias de costes de desplazamiento (inverso de la conectividad) existentes entre cada par de escenarios. Así pues se presentarán 3 transectos, uno por cada pareja de escenarios existente, al igual que para la comparativa anterior. Esta valoración permitirá matizar las diferencias observadas en los escenarios a lo largo del río Genil como elemento articulador del paisaje agrario perirubano del ámbito de trabajo.

El primero de ellos se ha realizado entre los escenarios de contención y tecnológico (Figura 8). En él se puede observar cómo el escenario tecnológico introduce en el entorno del río Genil un incremento de los costes de desplazamiento (o lo que es lo mismo, un mayor impacto o una menor conectividad) con respecto al de contención, especialmente en el entorno de la nueva vía incluida en aquél, en la que además se encuentra proyectado un nuevo nodo. De esta forma, la ubicación de un nodo de una infraestructura metropolitana puede suponer una importante alteración de la función del paisaje a lo largo de su más importante elemento vertebrador.

Por el contrario, encontramos una pequeña pérdida de conectividad para el escenario de contención con respecto al tecnológico, kilómetros más adelante, en el entorno de otro nodo, que era ocupado por zonas industriales en el escenario de contención. Sin embargo, a pesar de situarse en las cercanías del río, la pérdida de conectividad que experimenta frente al escenario tecnológico es inferior al 20 %, y a lo largo de un sector muy reducido.

En cualquier caso se puede concluir el análisis comparado subrayando el efecto negativo sobre la conectividad del paisaje en el entorno del río Genil introducida por la nueva vía incluida en el escenario tecnológico.

La segunda pareja de escenarios, formada por el escenario de contención y el escenario de incremento de la ocupación (Figura 9), presenta un comportamiento muy similar al señalado en la anterior comparativa, pero con algunos matices interesantes. En este sentido se puede señalar como la afección en el entorno del ya citado nodo de la nueva vía metropolitana es menor en extensión que en el caso anterior, a pesar de suponer igualmente una disminución del 100 % de la conectividad. Sin

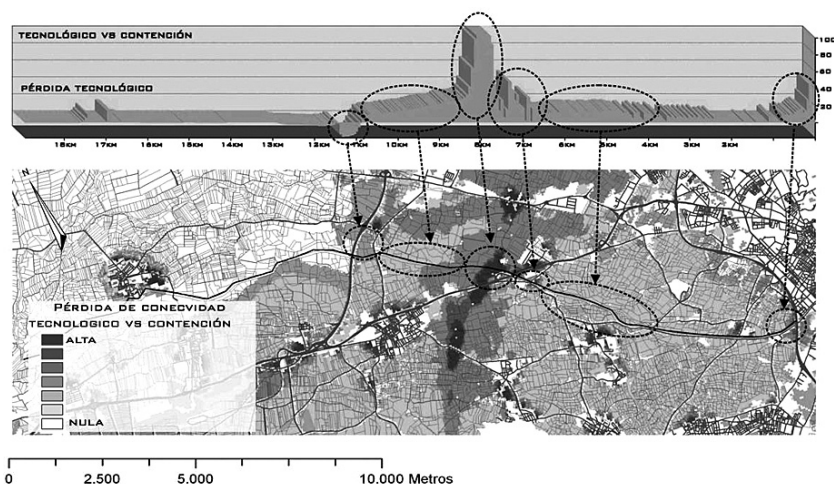


Figura 8: Transecto mostrando los cambios en la conectividad del escenario de especialización tecnológica frente al escenario de contención en la ocupación.

embargo, en las áreas inmediatamente anteriores a ésta, la pérdida de conectividad es más acusada que en la anterior comparativa, debido a los crecimientos de diversos núcleos urbanos situados en la margen izquierda del río.

En lo que respecta a la pérdida asociadas al escenario de contención únicamente, se concentra, al igual que en la anterior comparativa, en torno al km 11 del transecto, donde la pérdida de conectividad con respecto al escenario de incremento de la ocupación es del 20%, motivado por algún desarrollo en el entorno del río.

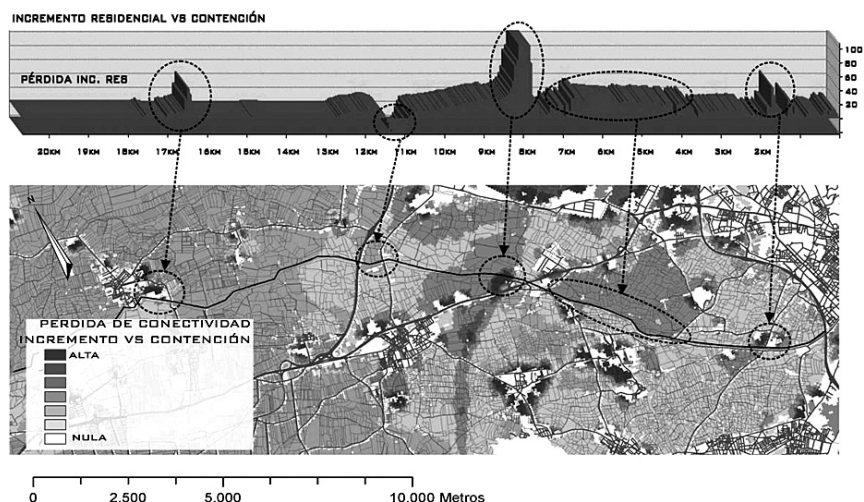


Figura 9: Transecto mostrando los cambios en la conectividad del escenario de incremento en la ocupación frente al escenario de contención.

Finalmente, la comparativa entre los escenarios tecnológico y de incremento de la ocupación (Figura 10) pone de manifiesto las principales diferencias ya señaladas anteriormente a través de las dos comparaciones anteriores. Éstas son:

Una disminución de la conectividad más acusada del escenario tecnológico en el entorno de la nueva vía, que puede situarse en torno al 20 % de la existente para el caso del escenario de incremento de la ocupación, así como en el entorno de la ciudad de Granada, al comienzo del transecto.

Una pérdida de conectividad a lo largo de la mayor parte del trayecto en el caso del escenario de incremento de la ocupación urbana, especialmente en el entorno del km 17, tras el nodo de la otra vía existente en el entorno del Genil (km 12) y las zonas previas a la nueva vía (km 4-7).

De una forma sintética, tras la valoración de los tres escenarios a través de la comparación de global y del transecto del río Genil, la tabla 4 resume los resultados de dicha valoración.

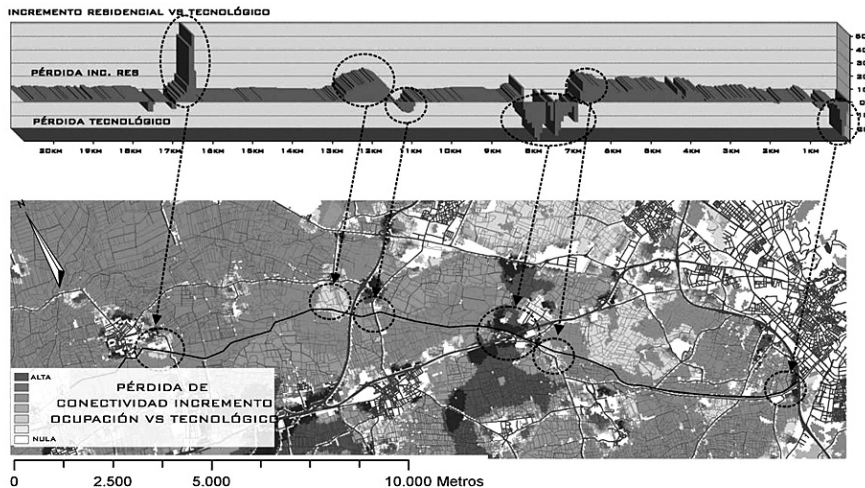


Figura 10: Transecto mostrando los cambios en la conectividad del escenario de incremento en la ocupación frente al escenario de especialización tecnológica.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados aquí mostrados revelan cómo la conectividad del paisaje, estimada a través de la metodología presentada, se convierte en un instrumento útil para valorar y comparar las afecciones que los diferentes modelos y formas de ocupación urbana introducen sobre el paisaje metropolitano (Marull y Mallarach, 2006). Esta valoración a través de la conectividad, como ejemplo de propiedad que conjuga tanto la estructura como la función del paisaje, permite generar una valoración valiosa sobre los cambios que se introducen en el paisaje, y en conjunción con la generación de escenarios futuros se convierte en un útil instrumento de decisión.

Escenario	Valoración global	Valoración del transecto sobre el río Genil
Escenario de contención del crecimiento urbano	El escenario de contención es el que presenta una mayor conectividad a nivel global, como revela la comparación con los otros dos escenarios	Salvo en zonas muy puntuales, este escenario presenta los valores más bajos de presión sobre el río Genil.
Escenario de especialización tecnológica	El escenario de especialización tecnológica muestra una pérdida global frente al escenario de contención, especialmente en aquellas áreas más orientales del ámbito de estudio, aunque menor que en el caso del escenario de incremento de la ocupación. En cualquier caso en algunas áreas presenta la mayor pérdida, ocasionada por crecimientos lineales.	La presión sobre el río Genil es importante en este escenario como consecuencia de los crecimientos nodales surgidos en el entorno de la nueva vía metropolitana.
Escenario de incremento de la ocupación urbana	Este escenario es el que muestra una mayor pérdida de la conectividad a nivel general, ocasionada por la mayor ocupación urbana.	Presenta la mayor presión sobre el río Genil, especialmente en algunas áreas puntuales como los entornos de algunos núcleos urbanos.

Tabla 4: Valoración sintética de los resultados de los análisis de la conectividad para los escenarios futuros.

En este sentido, los análisis pueden revelar áreas especialmente críticas, en las que nuevos desarrollos urbanos suponen pérdidas de conectividad muy relevantes, por suponer aislamientos completos de áreas extensas, y que no sería conveniente ocupar por el grado de afección global generado; o la necesidad de definir áreas sensibles en las que crecimientos en la ocupación urbana pueden alterar elementos importantes que pueden actuar como articuladores del paisaje, como podría ser el río Genil, como elemento estructurante del paisaje de la Aglomeración Urbana de Granada. Un ejemplo de estas áreas sensibles puede ser el ámbito del río Genil, en el que el escenario tecnológico, a pesar de introducir una menor pérdida de conectividad global, presentaba un peor comportamiento que el escenario de intensificación de la ocupación urbana.

Por otra parte, y desde una perspectiva propositiva, igualmente es posible detectar áreas en las que es prioritario la implementación de conexiones ambientales y de redes que garanticen la conectividad y los procesos ecológicos que tienen lugar en el paisaje periurbano (Helmund y Smith, 2006; Benedict y McMahon, 2006).

Así, el desarrollo de este tipo de instrumentos permitirá afianzar el campo de discusión y entendimiento entre planificadores y ecólogos del paisaje (Antrop, 2001), a través del desarrollo de herramientas comunes e indicadores aplicables en otros ámbitos metropolitanos (Botequilha y Ahern, 2002), y tratando de aportar un enfoque propositivo que se traslade a diversas escalas.

En cualquier caso, es necesario avanzar en la aplicabilidad de la metodología a escalas urbanas o de proyecto, que permitan incorporar los criterios de la conectividad en el diseño de los crecimientos urbanos y de los proyectos que se realicen, pues-

to que la escala de observación y análisis del paisaje resulta de vital importancia para la observación del paisaje (Turner, et al 2001). De esta forma, el diseño de pequeños corredores o espacios sin ocupar en una disposición estratégica en un proyecto o desarrollo urbano, pueden conseguir mejorar la conectividad del entorno paisajístico así como del paisaje con los bordes urbanos, circunstancia totalmente deseable para favorecer el acceso de la población a los entornos periurbanos, que en múltiples ocasiones palien la necesidad de zonas verdes en los entornos urbanos (Gómez Lopera, 2005).

6. BIBLIOGRAFÍA

- ADRIAENSEN, CHARDON, DE BLUST, SWINNEN, VILLALBA, GULINCK y MATTHYSEN (2003): "The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model". *Landscape and Urban Planning*, vol 64, pp 233–247.
- AGUILERA, F. (2006): "Predicción del crecimiento urbano mediante SIG y modelos basados en AC". *Geofocus*, vol 6, pp 86-112.
- AGUILERA, F. (2008): Análisis espacial para la ordenación eco-paisajística de la Aglomeración Urbana de Granada. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- ANTROP, M (2001): "The language of landscape ecologists and planners. A comparative content analysis of concepts used in landscape ecology". *Landscape and Urban Planning*, vol 55, pp 163-173.
- BENEDICT; M. A. y McMahan, E. T. (2006): *Green infrastructure: linking landscapes and communities*. Island Press, Washington.
- 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". En: *Ecosistemi Urbani*. Convegno nell'ambito della Conferenza annuale della Ricerca.
- BIERWAGEN, B. G. (2007): "Connectivity in urbanizing landscapes: The importance of habitat configuration, urban area size and dispersal". *Urban Ecosystem*, pp 30-42.
- BOTEQUILHA, A. y AHERN, J. (2002): "Applying landscape concepts and metrics in sustainable landscape planning". *Landscape and Urban Planning*, vol 59, p 65-93.
- BOTEQUILHA, A.; MILLER, J.; AHERN, J. y MCGARIGAL, K. (2006): *Measuring Landscapes. A planner's handbook*. Washington, Island Press.
- BUREL, F., y BAUDRY J. (2002): *Ecología del Paisaje: Conceptos, métodos y aplicaciones*. Mundi Prensa. Madrid.
- CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (1999): *Plan de Ordenación del Territorio de la Aglomeración Urbana de Granada*. Junta de Andalucía. Sevilla.
- DENG, J.S., WANG, K., HONG, Y. y QI, J.G. (2009) "Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization". *Landscape and Urban Planning*, vol 92, pp 187–198
- DRAMSTAD, W.E.; OLSON, J.D. Y FORMAN, R.T.T (1997): *Landscape Ecology Principles In Landscape Architecture: And Land-Use Planning*. Island Press.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2006): *Urban Sprawl in Europe*. EEA Report N°10/2006.

- FERNÁNDEZ, D. (2004): "Bases para la evaluación ambiental y territorial del Área Metropolitana de Granada". Congreso Nacional de Medio Ambiente. Colegio Nacional de Físicos. Madrid.
- FONT, A. (2004): *L'explosió De La Ciutat. COAC i Fòrum Universal de les Cultures de Barcelona*. Barcelona
- FORMAN, R.T.T y GODRON, M. (1986): *Landscape Ecology*. John Wiley. Nueva York
- FORMAN, R. T. T. (1995): *Land Mosaics: The Ecology Of Landscapes And Regions*. Cambridge. EE.UU
- FORMAN, R. T. T. (2000): "Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States". *Conservation Biology*, 14 Issue 1, pp 31-35.
- GARCÍA, S. (2002): "Conectividad En Sistemas Regionales De Áreas Protegidas". En *Conectividad Ambiental: Las Áreas Protegidas En La Cuenca Mediterránea*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.
- HELLMUND, P. C. y SMITH, D. S. (2006): *Designing Greenways. Sustainable Landscapes For Nature And People*. Island Press, Washington.
- HIDDING, M C. y TEUNISSEN, A. T. J. (2002): "Beyond fragmentation: Next concepts for urban-rural development", *Landscape and Urban Planning*, vol 58, pp. 287-308.
- JONGMAN, R.H.G. (1995): "Nature conservation planning in Europe:developing ecological networks". *Landscape and Urban Planning*, vol 32, pp 169-183.
- JORDÁN, F., MAGURA T., TÓTHMÉRÉSZ, B., VASAS, V. y KÖDÖBÖCZ, V. (2007): "Carabids (Coleoptera: Carabidae) in a forest patchwork: a connectivity analysis of the Bereg Plain landscape graph". *Landscape Ecology*, vol 22, pp 1527-1539.
- MARULL, J. y MALLARACH, J.M. (2005) : "A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan" Area. *Landscape and Urban Planning*, vol 71, pp 243-262.
- MARULL, J. y MALLARACH, J.M. (2006): "La conectividad ecológica en la planificación y la evaluación estratégica: aplicaciones en el área metropolitana de Barcelona". *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, vol 147, pp 41-60
- MATARÁN, A. (2005): *La valoración ambiental-territorial de las agriculturas de la costa de Granada*. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- MATARÁN, A. y AGUILERA, F. (2006): "Determinación de conflictos ambientales para la planificación territorial mediante análisis espaciales simples". XII: Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica,. ISBN 84-935057-0-6
- MCGARIGAL, K., y MARKS, B. J. (1995): *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for Quantifying Landscape Structure*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351
- MENOR, J. (2000): *La Vega de Granada: transformaciones agrarias recientes en un espacio periurbano*. Ed Universidad de Granada, Granada.
- MINISTERIO DE VIVIENDA (2006): *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España 2004*. Ministerio de Vivienda, Madrid.
- NIKOLAKAKI, P. (2004): "A GIS site-selection process for habitat creation: estimating connectivity of habitat patches". *Landscape and Urban Planning*, vol 68, pp 77-94.

- OSE, (2006): Informe de la Sostenibilidad en España 2006. Madrid, Mundi Prensa.
- PE'ER, G; HEINZ, S.K. Y FRANK, K. (2006): "Connectivity in heterogeneous landscapes: analyzing the effect of topography". *Landscape Ecology*, vol 21, pp 47-61
- SASTRE, P.; DE LUCIO J.V. Y MARTÍNEZ, C. (2002): "Modelos de conectividad del paisaje a distintas escalas. Ejemplos de aplicación en la Comunidad de Madrid". *Ecosistemas*, vol 2. Mayo-Agosto 2002.
- SOMMA, D. J. (2006): Interrelated modeling of land use and habitat for the design of an ecological corridor. A case study in the Yungas, Argentina. Tesis doctoral, Universidad de Wageningen (The Netherlands)
- TALAVERA, R. (2007): Diseño de instrumentos SIG para la evaluación de la dinámica de paisajes agrarios periurbanos. Proyecto Ambiental. Licenciatura en Ciencias ambientales. Universidad de Granada
- TISHENDORF, L. y FHARING, L. (2000): "How should we measure landscape connectivity?" *Landscape Ecology*, Vol. 15 No. 7, pp. 631-641.
- TURNER, G. M., GARDNER, R.H. y O'NEILL, R.V. (2001): *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process*. Springer-Verlag. EE.UU
- 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*. Springer, Berlín.
- VUILLEUMIER, S. y PRÉLAZ-DROUX, R. (2002): "Map of Ecological networks for landscape planning". *Landscape and Urban Planning*, vol 58, pp 157-170