

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

ESCENARIOS DE APTITUD Y MODELIZACIÓN CARTOGRÁFICA DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

EMILIO MOLERO MELGAREJO*
ALEJANDRO L. GRINDLAY MORENO
JOSE JOAQUÍN ASENSIO RODRÍGUEZ

Área de Urbanística y Ordenación del Territorio. Dept. Expresión Gráfica. Universidad de Granada
Campus Universitario de Fuente Nueva S/N. Edificio Politécnico. C.P. 18071 Granada (España)

[*emiliomolero@ugr.es](mailto:emiliomolero@ugr.es)

RESUMEN

La construcción de nuevas infraestructuras de transporte supone una alteración de las condiciones de accesibilidad, ofreciendo nuevas potencialidades para el desarrollo regional. Algunas comarcas granadinas verán modificadas sus condiciones actuales tras la puesta en servicio de varios tramos de la A-7 (Autovía del Mediterráneo) y la A-44 (Bailén-Motril).

El objetivo de este estudio es la proposición de posibles escenarios que cuantifiquen estas potencialidades. Mediante la elaboración de un modelo de accesibilidad y a partir de la sistematización de otras variables que condicionan la ocupación del suelo, se pretende determinar la localización de aquellos suelos potencialmente más aptos para acoger nuevos crecimientos urbanos y modelizar su evolución en el tiempo. El método de evaluación y decisión multicriterio elegido para la modelización es el denominado Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

Palabras clave: Evaluación multicriterio, crecimiento urbano, accesibilidad, planificación, modelización.

APTITUDE SCENARIOS AND URBAN GROWTH CARTOGRAPHIC MODELLING USING MULTICRITERIA EVALUATION METHODS

ABSTRACT

Constructing new transport infrastructures produces a distance reduction, as a cause of changes in the accessibility conditions. This process offers new potential for regional development.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

Some of the current conditions for the regions of Granada will be modified when some of the tracks of the new highways (A-7 and A-44) will be put in service.

The objective of this study is to propose scenarios to quantify these potentialities. This work is based on an accessibility model developed to assess the capacity of the study area to be urbanised in different time periods. To estimate the urban surface that will be needed in each of the considered periods, the population dynamics and future projections have been analysed. The main actualisation is related to the consideration of space variables representing the new conditions of accessibility. The multicriteria evaluation method selected for the model is the Analytic Hierarchy Process.

Keywords: Multicriteria evaluation, urban growth, accessibility, planning policies, urban modelling.

1. Introducción

La intensa interacción entre transporte y uso del suelo es punto de encuentro en las teorías de planificadores territoriales y del transporte. Esta acción recíproca es muy significativa en áreas urbanas y metropolitanas, ámbitos sobre los que se han desarrollado las distintas teorías que a ella se aproximan, desde las técnicas de la movilidad urbana, la economía y la sociología (Wegener y Fürst, 1999). En relación a las primeras, son tradicionales las explicaciones referentes a que las localizaciones con buena accesibilidad tienen mayores posibilidades de ser desarrolladas, con una densidad elevada, que las localizaciones remotas (Hansen, 1959), operándose el clásico proceso cíclico. Por ello se puede inferir que el impacto del transporte sobre los usos del suelo es mensurable por cambios en la accesibilidad de las localizaciones, de modo que una alta accesibilidad incrementa la atracción de un lugar para la localización de todo tipo de usos del suelo y debería influir en la dirección del desarrollo urbano (Wegener, 2002).

Ante la complejidad de los procesos espaciales, su aproximación modelizada, que ha de considerar integradamente un amplio número de variables y ha de interrelacionar las dimensiones económica, social y medioambiental de la realidad, ha experimentado un importante avance con el desarrollo de los sistemas de información geográfica (S.I.G).

Muchos son los trabajos que demuestran la importancia de estos sistemas en el desarrollo de modelos urbanos, (citados en Serrano, 2006) destacando entre otras las aportaciones de Longley (1994) y Batty (1994,1995) que plantean las posibilidades, problemas y perspectivas de la utilización de Sistemas de Información Geográfica en modelos urbanos, los de Sui (1994,1998) sobre las perspectivas de cambio metodológico que aportan estas nuevas tecnologías o los de Johnston y de la Barra (2000) que relacionan modelos de transporte y usos de suelo. Igualmente interesantes son las aportaciones de Pérez *et al.* (2004) y Aguilera *et al.* (2006) en cuanto a sus revisiones bibliográficas de modelos desarrollados en diferentes investigaciones sobre la obtención de patrones espacio-temporales de cambios en los usos del suelo.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

El desarrollo de los S.I.G. raster, y sus funciones de análisis espacio-temporal a través de series cronológicas de usos del suelo, así como su puesta en relación con un conjunto de variables explicativas mediante evaluación multicriterio, permite, en un ejercicio de modelización prospectiva, establecer posibles escenarios de ocupación (Paegelow, Camacho y Menor, 2003). La combinación de la información raster y vectorial junto con la posibilidad de aplicar algoritmos de accesibilidad a la red de transporte, integrados en un único modelo, logra aunar los principios de la modelización basada en actividades como la localización de usos y la movilidad, de forma consistente.

Este trabajo ha sido desarrollado en el Laboratorio de Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Universidad de Granada, coordinado por el profesor J.L. Gómez Ordóñez, dentro del "Estudio Piloto para la Gestión Integrada del río Guadalfeo" financiado por la Consejería de Obras Públicas y Transporte de la Junta de Andalucía bajo la dirección del profesor M. Losada, y que precisaba de distintos escenarios futuros (población, agricultura, ocupación de suelo, etc.) para la implementación de un modelo de gestión integrada de dicha cuenca hidrográfica.

2. **Ámbito de estudio**

La puesta en servicio de varios tramos de la A-7 (que completarán con un retraso de varias décadas la Autovía del Mediterráneo) y la A-44 (Bailén-Motril, una importante conexión interior-costa), en la región más meridional de la provincia de Granada, modificará de una forma muy considerable las condiciones de accesibilidad de comarcas, como La Costa, el Valle de Lecrín y Las Alpujarras. Un total de 50 municipios agrupados en torno a la cuenca hidrográfica del río Guadalfeo se podrían beneficiar de esta nueva situación ([figura 1 figura 10](#)).

3. **La modelización de la accesibilidad**

El concepto de accesibilidad hace referencia al factor de interacción del territorio, donde las relaciones entre dos puntos aumentan en función de la disminución del coste de desplazamiento entre ellos. Denominaremos accesibilidad territorial de un lugar a aquella que representa la calidad y diversidad de comunicaciones de que dispone un punto del territorio (Galán, 1999).

La accesibilidad territorial se relaciona directamente con el concepto de distancia y por lo tanto con el de espacio. La distancia influirá sobre la localización de las actividades en el espacio, como han puesto de manifiesto muchos autores en diversos modelos teóricos de localización (Weber en 1909; Chistaller en 1933; Lösch en 1968; Bunge en 1973, etc.) recogidos en parte por Potrykoski y Taylor (1984). Las nociones de proximidad y lejanía ya no se pueden referir únicamente a la idea de espacio absoluto, sino que también a la de espacio relativo. El tiempo, por tanto, se constituye como parámetro fundamental para entender la distancia (Varela 2004).

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

Los tradicionales indicadores de accesibilidad, e incluso de los análisis de redes, en sintonía con la teoría matemática de los grafos, usados por los SIG vectoriales, no consideran todo el territorio, sino que lo aísla en modelos arco/nodo mediante la localización de la población y de los servicios, y el trazado de la red viaria que los comunica. Se obtienen en estos casos valores de accesibilidad para los nodos comunicados, pero no para cada punto del territorio.

Para conseguir un modelo continuo se recurre a los modelos raster, que aunque reducen la precisión geométrica de los elementos (dependiendo del tamaño de celda), ofrecen unas capacidades analíticas mucho mayores, fundamentalmente a través del álgebra de mapas.

Experiencias con este modelo las encontramos en los trabajos de Farrow y Nelson (2001) en Honduras, Pablo *et al.* (2002) sobre la red viaria de Alta capacidad en España, Varela (2004) en la provincia de La Coruña o Mendes, Rodrigues y Ramos (2005) en diversas zonas de Portugal, donde se utilizan modelos de cálculo que permiten determinar el coste acumulado existente en el desplazamiento desde uno o varios puntos tomados como objetivos al resto de puntos de una región.

Para el cálculo de las distintas medidas de accesibilidad se ha seguido una variación de la metodología propuesta por Farrow y Nelson (2001) y que tiene su origen en los estudios de Ian McHarg sobre planificación territorial de finales de los años 60 (McHarg, 2000). Las técnicas utilizadas de reclasificación y superposición de mapas temáticos, para generar nuevas variables o modelización cartográfica, se consideran las operaciones más características de los modernos S.I.G., además de unas potentes herramientas de análisis (Gómez y Barredo, 2005).

El presente estudio se ha realizado bajo el entorno de trabajo del software ArcGis 9.0 y de su módulo Spatial Analyst que permite trabajar tanto con datos de tipo vectorial como raster. En la [figura 2](#) se ilustra el diagrama metodológico aplicado.

3.1. Generación de la superficie de fricción

Para la modelización de la accesibilidad se ha considerado el territorio como una matriz de elementos discretos o malla (en nuestro caso de 10 x 10 m) asignándole a cada celda o píxel un valor que representa la resistencia al desplazamiento en términos de tiempo y que se denomina superficie de fricción.

Para determinar el valor de cada cuadrícula, es decir, la impedancia o coste que supone cruzarla, se tienen en cuenta diferentes características del territorio, la red viaria como elemento fundamental, ríos, áreas urbanas, barreras y tipo de cobertura del suelo. La velocidad de viaje asignada a cada píxel se transforma, mediante una reclasificación para expresarla en términos de tiempo requerido en cruzar un metro de territorio ([tabla 1](#)).

El valor así estimado de las celdas es posteriormente modificado mediante un coeficiente multiplicativo que recoge la pendiente del terreno y que ha sido generado a partir de un modelo

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

digital de terreno de 10 m de resolución (a las pendientes menores de 3% se le asigna el coeficiente de valor 1, entre 3% y 7%, el valor 2 y mas de 7% el valor 3). Cabe destacar la introducción en el modelo del efecto barrera que supone el trazado de la autovía, mediante líneas paralelas de gran impedancia y la creación a ambos lados de su traza de sendas vías de servicio que dan continuidad a la red y que actúan como colectoras de todas estas vías que quedan interrumpidas hacia los enlaces. Este mismo efecto barrera atiende con igual consideración a las superficies de agua (ríos y embalses).

3.2. El algoritmo Costo-Distancia

Sobre la superficie generada o superficie de fricción ([figura 3](#)) y seleccionando previamente unos polos u objetivos, se aplica el algoritmo costo-distancia (cost-distance), que permite calcular para cada celda el menor costo acumulado, en términos de tiempo, hasta el objetivo más cercano (ESRI.2004). El resultado es una superficie continua donde a cada celda se le ha asignado el tiempo en alcanzar dicho objetivo. Esta malla es posteriormente clasificada para la obtención de isocronas.

En una primera fase del estudio, se eligieron y ensayaron diferentes objetivos o polos, en base a las distintas características de los flujos generados por cada uno de ellos:

Los viajes con origen – destino en Granada Capital y su área de influencia se consideraron como viajes de carácter más frecuente, incluso de carácter pendular, con destino a una segunda residencia en la zona costera o a desplazamientos de fin de semana o incluso de jornada única. Serían pues viajes más relacionados con la residencia. Por otro lado, los viajes con origen – destino en el Aeropuerto de Málaga se consideraron como viajes de carácter más esporádico y menos repetitivo, más bien relacionados con un turismo vacacional de más larga estancia, y consiguientemente asociados mas a la infraestructura hotelera de la zona, y menos a la posesión de una segunda residencia.

Finalmente, para tomar un factor que realmente exprese la accesibilidad de cada parcela del territorio, se eligieron como objetivos, por un lado, los nudos de la autovía como los lugares que dan acceso a la red de alta capacidad, y por tanto donde se alcanza la accesibilidad máxima al conjunto de ámbitos territoriales más dinámicos de su entorno (áreas metropolitanas de Málaga, Granada y Almería) en unos intervalos de tiempo muy similares (entre 30 y 45 minutos), y por otro, los entornos urbanos para evidenciar la mayor probabilidad de que se urbanice una zona contigua a otra ya edificada.

4. La Aptitud para la urbanización

A partir de la sistematización de las distintas variables territoriales que condicionan la ocupación del suelo y gracias a las herramientas propias de los S.I.G, se pretende determinar donde

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

se localizan aquellos suelos potencialmente más aptos para acoger nuevos crecimientos urbanos, y que serán los que con mayor probabilidad se desarrollen en el futuro

4.1. Variables territoriales

Además de la propia cartografía del crecimiento urbano, que se ha considerado como la variable a explicar o dependiente, se ha construido una base de datos cartográfica de la zona de estudio que incluye distintas variables (físicas, ambientales y antrópicas), que serán empleadas en la fase de análisis como posibles variables explicativas del crecimiento urbano.

En primer lugar, se han considerado variables de proximidad, ya sea física (distancia a zonas urbanas), o en tiempo (accesibilidad), por ser uno de los principales condicionantes del crecimiento urbano (Aguilera, 2006). Así mismo, los documentos de planeamiento deben orientar los procesos urbanos, por lo que han sido incluidos en el análisis recogiendo el suelo urbanizable previsto en los mismos. Aunque las actividades económicas son también uno de los principales motores de crecimiento y desarrollo, no se consideran en el análisis debido a la complejidad que añadiría al modelo. Finalmente también se han considerado algunas variables ambientales: pendientes, orientaciones y amplitud visual al mar, con el objetivo de cuantificar tanto posibles obstáculos naturales al crecimiento urbano como marcadas potencialidades.

Para determinar el grado de correlación existente entre las distintas variables y el crecimiento urbano, se adoptan los resultados del estudio realizado por Aguilera (2006) mediante regresión logística espacial y los de Grindlay *et al.* (2004).

4.2. Evaluación multicriterio

El análisis o evaluación multicriterio (EMC) se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en procesos de decisión (Gómez y Barredo, 2005). Se basa en la ponderación y compensación de variables que van a influir de manera positiva (aptitud) o negativa (impacto) sobre la actividad objeto de decisión y que deben ser inventariados y clasificados previamente. En nuestro caso, el proceso permite obtener mapas que expresan la aptitud del suelo para ser urbanizado. La variación en la asignación de los pesos mediante la comparación por pares de variables hace posible la generación de diferentes modelos de urbanización que serán posteriormente estudiados y comparados.

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), desarrollado por el matemático Thomas Saaty, consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio de forma visual, mediante la construcción de un modelo que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas. Una vez construido, se realizan comparaciones por pares entre dichos factores y se atribuyen valores numéricos a las

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende (Saaty, 1998).

Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty, que va desde 1 hasta 9. Una vez obtenido el resultado final, el AHP permite llevar a cabo el análisis de sensibilidad del modelo.

El proceso seguido tras la definición del problema se puede resumir en cuatro etapas de las cuales la última no se refleja en este artículo y de la que dan buena cuenta Gómez y Bosque (2004):

- Selección de criterios: definición de factores y limitantes
- Generación de la información cartográfica o factores de localización
- Integración de la información en un S.I.G. y obtención del modelo
- Validación de los resultados: Tratamiento del error y la incertidumbre

4.3. Selección de criterios: Definición de factores y limitantes

Antes de proceder a la evaluación de la capacidad de acogida es necesario definir que criterios (factores de localización y criterios limitantes) van a ser tenidos en cuenta. Estos criterios están asociados a entidades geográficas y a las relaciones entre entidades y, por tanto, pueden representarse en forma de capas temáticas. La evaluación multicriterio en el entorno de los S.I.G., se basa en que cada factor venga representado por una capa de información cartográfica georreferenciada, en la cual todos los puntos del territorio toman un valor con respecto a la actividad objeto de decisión (Gómez y Barredo, 2005).

Los factores de localización que intervienen en este modelo son:

- Accesibilidad a los nudos: Con la superficie de fricción del modelo anterior y tomando como objetivo los nudos de la autovía, se obtiene mediante el algoritmo costo-distancia, la accesibilidad a los nudos de comunicación, en tiempo de viaje ([figura 4](#)). Este factor lleva implícita la variable pendiente.
- Accesibilidad a entornos urbanos: Entendida como tiempo de viaje a los núcleos de población. Se genera igualmente a partir de la superficie de fricción, tomando como objetivo los núcleos de población ([figura 5](#)).

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

- Usos: Usos del suelo y superficies clasificadas en el planeamiento como urbanizables. Esta variable se generó, mediante agrupación de las categorías del mapa de usos y coberturas vegetales del suelo de la Consejería de Medio Ambiente y completado, en gran medida mediante digitalización, con el planeamiento vigente (en formato raster) cedido por los Ayuntamientos. ([figura 6](#)).
- Orientación: Generada a partir del modelo digital de elevaciones de 10 metros de resolución mediante el algoritmo Derive Aspect.
- Fruición visual o amplitud visual al mar: A partir del modelo de elevaciones y tomando 100 puntos (situados sobre el nivel del mar) pertenecientes a curvas paralelas a la línea de costa, se calcula la exposición visual de cada celda a estos puntos. Se obtiene un mapa que contiene en cada celda el número de porciones de mar que son visibles desde ella. La gama de valores posibles va desde 0 (sin visibilidad al mar) hasta 100 (amplitud visual máxima). Se restringe a zonas distantes menos de 20 Km. a la línea de costa. Una primera lectura de este mapa nos permitirá ubicar zonas potencialmente atractivas visualmente ([figura 7](#)).

Los criterios limitantes (restricciones) considerados se corresponden a mapas binarios (0/1) de las zonas excluidas del análisis (valor 0). Se reflejan en la [figura 8](#) y son los siguientes:

- L1. Embases y superficies de agua. Dominio público hidráulico y zona de servidumbre: Buffer de 100 metros a los cauces principales y 50 metros a los restantes. Se consideran vegas fluviales y llanuras de inundación.
- L2. Viario, vías pecuarias (cañadas, veredas, cordeles y coladas) y dominio público viario (Ley 8/2001). Para delimitar la zona de no edificación se genera un buffer de 100 metros alrededor de las vías de gran capacidad y de 50 sobre las vías convencionales. Para las vías pecuarias (Ley 3/1995) se genera un buffer según la anchura de dichas vías, obteniendo umbrales de 10, 20, 30, 40, 50 y 80 m.
- L3. Superficies de especial protección. Las definidas en el planeamiento como de especial protección y las incluidas en espacios naturales protegidos.
- L4. Dominio público marítimo terrestre: De igual forma se genera un buffer de 100 metros a la línea de costa.
- L5. Áreas ya urbanizadas ([figura 11](#)). Se considera la superficie urbana consolidada existente en el año 2004.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

4.4. Generación de la información cartográfica o factores de localización

Cada una de las capas que representan los 5 factores considerados y la que agrupa a los limitantes, son convertidas a formato raster con resolución 10 metros. Una vez transformados los factores son tratados convenientemente para sustraer los píxeles incluidos en la capa de limitantes. Tras este proceso se procede a su normalización por reclasificación y a la valoración de cada una de las categorías.

Normalización y valoración de las categorías de los criterios

Las puntuaciones en los atributos son normalizadas a efectos de eliminar problemas de cálculo originados por las diferentes escalas y/o unidades empleadas en la matriz de decisión. La normalización no siempre es necesaria, pero si es esencial en la mayoría de los métodos compensatorios. El propósito es el de obtener escalas comparables, lo que permitirá realizar comparaciones intra-atributos así como inter-atributos. En consecuencia, las puntuaciones normalizadas no tienen unidades de dimensión y, para el caso de atributos de beneficios, cuanto mayor sea la puntuación normalizada, mayor es la preferencia del mismo. Una de las opciones, la más utilizada, podría ser el ajuste lineal, mediante el que se reescalan los valores originales entre unos límites mínimo y máximo o los basados en funciones de pertenencia a un conjunto borroso, sin embargo, debido a la naturaleza (escala nominal) de algunos de los factores considerados y con objeto de no perder el control de las magnitudes, se decidió finalmente clasificar y valorar previamente cada factor.

Este paso conlleva un proceso de disminución de la ambigüedad y de la dificultad de manejo de las variables, ya que por lo general se procede a transformar los datos de una escala nominal a una ordinal. Para nuestro estudio se toma un método de asignación de fácil implementación denominado "escala de siete puntos" donde a cada criterio se le asigna un valor de una escala de siete, siendo 1 el menos apto y 7 el de mayor aptitud (Gómez y Barredo, 2005).

Cabe resaltar para su correcto entendimiento, como para el factor Usos, se asume, con un mayor peso en la valoración, el completo desarrollo del suelo clasificado como urbanizable en las primeras etapas de la modelización, dejando de ser prioritario en etapas posteriores.

La [tabla 2](#), [tabla 3](#), [tabla 4](#), [tabla 5](#), y [tabla 6](#) reflejan esta valoración, que fue consensuada por los miembros del laboratorio de urbanismo de la Universidad de Granada, entre los que se encuentran ingenieros de caminos, urbanistas, arquitectos, licenciados en ciencias ambientales y geógrafos.

4.5. Integración de la información en un S.I.G. y obtención del modelo

El AHP ordena estos factores en un modelo jerárquico, realiza comparaciones binarias (por pares) y atribuye valores numéricos a los juicios (preferencias) realizados por las personas (respecto

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

de la importancia relativa de cada elemento) y los sintetiza, agregando las soluciones parciales en una única solución. (Marioni, 2004)

La aplicación de la extensión AHP 1.0 para ArcGis 9.0 facilita, por tanto, la asignación de pesos o ponderaciones para cada factor. Como resultado se obtienen diferentes niveles de urbanización potencial, que son cuantificados en porcentaje de superficie ocupada respecto al término municipal en cada nivel de potencialidad. Los pesos generados en la aproximación definitiva fueron 0.4712, 0.2932, 0.04, 0.0775 y 0.1181 para los factores: accesibilidad a nudos, accesibilidad a entornos urbanos, usos, orientación y fruición visual respectivamente, y el ratio de consistencia (que debe ser menor a 0,1) toma el valor 0.0639.

La posterior integración de los factores se realiza mediante una combinación lineal ponderada, quizás el método más intuitivo y fácil de implementar, obteniéndose el valor de aptitud como resultado de la sumatoria, para cada píxel, del producto de cada factor por su peso.

Adicionalmente permite realizar el análisis de sensibilidad para observar y estudiar otras posibles soluciones al hacer cambios en la importancia de los elementos que conforman el modelo.

En la [figura 9](#) se muestra el modelo cartográfico generado con la extensión Model Builder de ArcGis 9.0.

5. Análisis de la dinámica poblacional

El crecimiento de una población se debe a un número de factores que pueden covariar, tales como natalidad y mortalidad, inmigración y emigración, pero además los tamaños de las poblaciones pueden cambiar en función de variables ambientales, espaciales o factores intrínsecos de la población misma. Por ese motivo, se han realizado previsiones de población para cada uno de los municipios estudiados (figura 10) basadas en tasas históricas incorporando al modelo variables territoriales y espaciales que serán recogidas en un coeficiente de aptitud a la ocupación, y en un límite de capacidad de carga o población máxima. Se pretende estimar de esta forma la población "de censo" de cada uno de los municipios para los años 2010, 2025 y 2050.

Las proyecciones de población basadas en tasas históricas suponen que si un territorio ha crecido a una cierta tasa durante los últimos años, en los próximos lo seguirá haciendo a la misma tasa, o a otra deducible de ésta. Los cálculos se han realizado a partir de las series históricas de población, con crecimientos basados en los periodos 1991-2001 y 2001-2004.

Se han utilizado tres patrones de crecimiento que pueden ser englobados en dos grupos: modelos de crecimiento exponencial y modelos de crecimiento logístico. Un modelo de crecimiento exponencial es un modelo simple, en el cual el tamaño de la población es función de la tasa de crecimiento intrínseca, del tamaño inicial de la población y del tiempo. De este tipo se ha utilizado un modelo de crecimiento interanual y un modelo de crecimiento continuo. El modelo de

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

crecimiento logístico incorpora una variable de presión ambiental, denominada capacidad de carga, que representa el máximo número de individuos que la superficie limitada del territorio puede acoger.

Crecimiento interanual

Dadas las poblaciones $P(t)$ y $P(t+n)$ en los momentos t y $t+n$ respectivamente se considera que las variaciones que se producen en cada año repercuten en las cifras del año siguiente.

Se define la tasa de crecimiento interanual como:

$$ci = 1 - ((P(t+n)/P(t))^{1/n})$$

y de este modo

$$P(t+n) = P(t) * (1+ci)^n$$

Crecimiento continuo

Dadas las poblaciones $P(t)$ y $P(t+n)$ en los momentos t y $t+n$ respectivamente equivale al límite con el modelo de crecimiento interanual cuando el periodo en el que se consideran las variaciones se hace muy pequeño y, consecuentemente T tiende a infinito.

Se define la tasa de crecimiento continuo como:

$$tc = (\ln(P(t+n)/P(t)))/n$$

y de este modo

$$P(t+n) = P(t) * \exp(tc * n)$$

Crecimiento logístico

Este modelo incorpora una variable ambiental, denominada capacidad de carga, que representa el máximo número de individuos que puede sostener el ambiente y que llamaremos P_{max} . La incorporación de esta variable indica que los recursos son limitados para los individuos de la población. De igual modo que el modelo exponencial, este modelo también supone que las respuestas de natalidad y mortalidad son instantáneas.

Dadas las poblaciones $P(t)$ y $P(t+n)$ en los momentos t y $t+n$ respectivamente, se define la tasa intrínseca de crecimiento logístico como:

$$r = \{ [((P_{max} - P(t+n)) / (P_{max} - P(t))) * (P(t) / P(t+n))]^{-1/n} \} - 1$$

y de este modo

$$P(t+n) = P_{max} / (1 + ((P_{max} / P(t)) - 1) * (1+r)^{-n})$$

Los resultados que se obtienen para cada municipio y año provienen de la combinación de todas las hipótesis planteadas hasta ahora, tanto a nivel modélico, como a nivel de datos de partida para las proyecciones. De este modo se obtendrán las siguientes series independientes:

Crecimiento Interanual con y sin Coeficiente de Aptitud con crecimiento de origen similar al periodo 1991-2001.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

Crecimiento Interanual con y sin Coeficiente de Aptitud con crecimiento de origen similar al periodo 2001-2004.

Crecimiento Continuo con y sin Coeficiente de Aptitud con crecimiento de origen similar al periodo 1991-2001.

Crecimiento Continuo con y sin Coeficiente de Aptitud con crecimiento de origen similar al periodo 2001-2004.

Crecimiento Logístico con y sin Coeficiente de Aptitud con crecimiento de origen similar al periodo 1991-2001.

Crecimiento Logístico con y sin Coeficiente de Aptitud con crecimiento de origen similar al periodo 2001-2004.

5.1. Incorporación de variables espaciales: Capacidad de carga y coeficiente de aptitud

Se pretende considerar las posibles discontinuidades en las tendencias que las nuevas infraestructuras van a generar, incorporando a los patrones de crecimiento poblacional la capacidad de carga de cada municipio y una variable espacial, que llamaremos coeficiente de aptitud a la urbanización, y que introduce la componente territorial sobre esta modelización.

Ambas variables proceden del modelo de aptitud, y se implementan mediante dos índices, el primero, que genera una línea asintótica en el modelo, se construye a partir de la superficie libre del municipio, una vez eliminados los limitantes y transformando a población la superficie apta para urbanizar, tomando densidades medias de 50 y 30 viviendas/ha (según tipología) y una ocupación tipo de 3 hab./vivienda; el segundo surge como cociente entre la superficie calificada como de muy alta aptitud y la superficie o soporte territorial disponible.

Este coeficiente de aptitud es distribuido porcentualmente (30%, 50% y 20%) en varios periodos (2004-2010, 2010-2025 y 2025-2050), considerando la finalización de estas infraestructuras en 2010, para así estimar el incremento poblacional que se generará con las nuevas condiciones de accesibilidad.

Tras un minucioso estudio de los valores generados por cada serie, de la comparación con la evolución de la Costa del Sol Occidental (según los datos absolutos de la población, realizando un incremento relativo intercensal, se llega a la conclusión de que cada año la población aumenta alrededor de un 4,68% (Diputación de Málaga, 2002)) y del conocimiento propio de la zona, se elige una cuña de valores de población para cada año horizonte, tomando como valores máximo y mínimo el estimado por el modelo logístico con coeficiente de aptitud y con crecimientos en origen igual a la tasa de los periodos 1991-2001 y 2001-2004. La elección de este modelo se justifica por la incorporación de las variables espacial y ambiental, creando un escenario más realista, debido a la consideración de la disminución progresiva en el tiempo de la tasa intrínseca de crecimiento, conforme la población se acerca a su límite de capacidad de carga, y del aumento de la población inducido por la aptitud del territorio a acoger nuevas actividades y población.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

Este análisis permite a su vez retroalimentar el modelo predictivo mediante la estimación de la superficie urbana demandada para cada uno de los años horizonte.

6. Resultados

Los resultados del análisis prospectivo de población para cada uno de los 50 municipios se reflejan en la [tabla 7](#). Tras este análisis de la dinámica poblacional se procede a la transformación: población estimada-superficie urbana demandada, mediante la asignación de los estándares de densidad indicados. El resultado es un valor de superficie urbana demandada para cada año horizonte y para cada ámbito municipal. ([tabla 7](#))

En cuanto al modelo generado mediante técnicas compensatorias aditivas, combinación lineal ponderada y jerarquías analíticas, tras su correspondiente validación y análisis de sensibilidad, y una vez implementada la demanda de superficie urbana para cada uno de los años horizonte, se reclasifica adecuadamente, actuando individualmente para cada municipio y tomando como umbrales dichas superficies, obteniéndose finalmente la localización espacial y temporal de la zonas de mejor aptitud hacia la urbanización para cada uno de los municipios considerados. En la [figura 12](#) se muestran los posibles escenarios de aptitud al desarrollo urbano para los años 2010, 2025 y 2050 en los que se pueden apreciar unas secuencias moderadas del crecimiento urbanístico espacial estimado, en relación a modelizaciones previamente ensayadas y a ámbitos territoriales contiguos.

7. Conclusiones

Cada vez es más reconocido el carácter impredecible, la incertidumbre de las decisiones que guían los procesos de urbanización, en una economía globalizada y liberada del factor físico de la distancia, en la que cualquier actividad se puede desarrollar casi en cualquier lugar. Una perspectiva más amplia será la de usar las medidas de accesibilidad para integrar las políticas de usos del suelo y de transporte en un ámbito determinado. Los análisis cuantitativos de accesibilidad y su impacto sobre los cambios en los usos del suelo parecen tener, a la vista de los resultados, un potencial relevante como instrumento en la planificación. La modelización desarrollada en este trabajo permite una aproximación consistente a la incertidumbre intrínseca de los horizontes futuros a establecer y necesarios para la implementación de modelos de planificación integrada.

El análisis de la dinámica poblacional muestra que la trayectoria experimentada por la población en la red de asentamientos manifiesta, en definitiva, dos tendencias divergentes en la evolución del poblamiento: de un lado la marcada vitalidad del litoral y su área de influencia, ligada a su mayor dinamismo social y económico; de otro lado, se evidencia el declive rural de las áreas de interior. El modelo ensayado, que a nivel territorial se vislumbra como posible, necesita de un proceso de validación para ajustarse de forma más apropiada a las expectativas municipales. El

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

análisis de sensibilidad y los mismos resultados parciales de cada factor se convierten ahora en potenciales escenarios a ser analizados.

La novedad de esta aplicación está en la retroalimentación mutua entre análisis estadísticos demográficos y su traducción espacial, y el establecimiento de la superficie potencial de crecimiento urbano en distintos horizontes temporales usando AHP.

En este sentido, es necesario determinar la vigencia de los resultados del AHP, pues seguramente en un plazo que debe preverse, se tendrían que incorporar nuevos aspectos relevantes a tener en cuenta, debido a las condiciones cambiantes del macro y microentorno de la situación en cuestión (cambios en los entornos biofísico, social, económico, político y tecnológico).

La información generada, sin embargo, podrá permitir a los planificadores, tomadores de decisión u otros actores, profundizar en su conocimiento de la realidad del territorio, analizar y emprender acciones, teniendo en cuenta las necesidades e intereses de la comunidad y la visión que tienen de su propio futuro en lo concerniente a los usos del suelo, incluidas las amenazas y oportunidades a las que conllevaría cada posible solución.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, F. (2006): "Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares", *Geofocus (Artículos)*, nº 6, pp. 81-112.
- Aguilera, F., Soria, J.A. y Valenzuela, L.M. (2006): "Explorando el crecimiento en la Aglomeración urbana de Granada: Un modelo basado en autómatas celulares". XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Universidad de Granada.
- Batty, M. (1994): "Urban models 25 years on", *Environment and Planning B. Planning and Design*. Vol. 21. 5, pp. 515-517.
- Batty, M. (1995): "Cities, planning, design, computation and evolution", *Environment and Planning B. Planning and Design*. Vol. 22. pp. 379-382.
- Diputación de Málaga (2002): Plan de Acción Estratégica para la Provincia de Málaga. Usos del Suelo y Territorio. Análisis de la Situación Ambiental.
- Environmental Systems Research Institute (2004). ArcGis 9: Geoprocessing, ESRI Inc, Redlands, California
- Farrow, A. y Nelson, A. (2001): "Modelación de la Accesibilidad en ArcView 3. Una extensión para calcular el tiempo de viaje y obtener información sobre captación de mercados". Centro Internacional de Agricultura Tropical. <http://www.ciat.cgiar.org/access/acceso/index.htm>
- Galán, P. (1999): "La red local y la accesibilidad como instrumentos del desarrollo territorial". II Congreso Nacional de Carreteras locales. Asociación Española de la Carretera. Torremolinos (Málaga).
- Gómez, M. y Barredo, J.I. (2005): *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio*. Madrid. Ed. Ra-Ma.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

Gómez, M. y Bosque, J. (2004): "Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de decisiones", *Geofocus (Artículos)*, nº 4, p. 179-208

Grindlay, A.L., Hernández, E., Cortés, R. y Molero, E. (2004): "Interacción accesibilidad usos del suelo: Perspectivas de desarrollo litoral granadino ante el trazado de la Autovía del Mediterráneo". VI Congreso de Ingeniería del Transporte. Vol 4. Zaragoza.

Hansen, W.G. (1959): "How accessibility shapes land use", *Journal of the American Institute of Planners*, 25, pp. 73-76.

Johnston, R.A. y De La Barra, T. (2000): "Comprehensive regional modeling for logrange planning: linking integrated urban models and geographic information systems", *Transportation Research. Part A*. Vol. 34, Pergamon. pp. 125-136.

Longley, P. y otros (1994): "The predictive use of GIS to model property valuations", *International Journal of Geographical Information Systems*. Vol. 8, pp. 217-235.

Marioni, O. (2004): "Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS", *Computers and Geosciences*, 30, 6, pp. 637-646.

McHarg, I.L. (2000): "Proyectar con la naturaleza". Ed. Gustavo Gili. Barcelona.

Mendes, J.; Rodrigues, D. y Ramos, R. (2005): A GIS-based multicriteria model for the the evaluation of territorial accessibility. En Kungolos, A. ; Brebbia, C. A. ; Beriatos, E., ed. lit. - "Sustainable Development and Planning II". Southampton : Witpress, 2005. ISBN 1-84564-050-0. p. 795-804.

Pablo, F.; Muñoz, C. y Myro, R. (2002): Un análisis del efecto de la inversión en infraestructuras sobre la accesibilidad del territorio a la red viaria de alta capacidad. XXIX Reunión de Estudios Regionales.

Paegelow, M.; Camacho, M.T. y Menor, J. (2003): "Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje", *Geofocus*, nº 3, pp. 22-44.

Pérez, R.; Molero, E; Valenzuela, L.M. y Matarán, A. (2004): "Aplicación de los sistemas de información geográfica para la elaboración de modelos predictivos del cambio en los usos del suelo", *El empleo de los SIG y la Teledetección en Planificación Territorial*. Murcia. XI Congreso Nacional de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

Potrykoski, M. y Taylor, Z. (1984): *Geografía del Transporte*. Ed. Ariel

Saaty, T. (1998): "Método Analítico Jerárquico (AHP): Principios Básicos" en: *Evaluación y decisión multicriterio. Reflexiones y experiencias*. Editado por Eduardo Martínez y Mauricio Escudey. Editorial Universidad de Santiago. pp 17-46.

Serrano, M.M. (2006): "Propuesta metodológica para elaborar modelos de transporte y desarrollo urbano mediante teledetección y sistemas de información geográfica". Departamento de análisis geográfico regional y geografía física. Universidad Complutense de Madrid.

Sui, D.Z. (1994): "GIS and Urban studies: Positivism, post-Positivism, and beyond", *Urban Studies* Vol. 45. 3. pp.258-278.

Sui, D.Z. (1998): "GIS-based urban modelling: practices, problems and prospects", *International Journal Geographical Information Sciences*. Vol. 12. 7. pp. 651-671.

Varela, F.A. (2004): "Experiencias sobre los cálculos de accesibilidad mediante SIG". *El empleo de los SIG y la Teledetección en Planificación Territorial*. Ed. C. Conesa García, Y., Álvarez Rogel y C. Granell Pérez. Grupo de Métodos Cuantitativos de Geografía. Universidad de Murcia.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

Wegener, M. (2002): "Land-Use Transport Interaction: State of the Art: What Can We Learn from North America?" STELLA Genesis Kick-off meeting.

Wegener, M. y Fürst, F. (1999). Land-Use Transport Interaction: State of the Art. Report to the European Commission. Berichte aus dem Institut für Raumplanung 46. Dortmund: Institut für Raumplanung.

TABLAS

Tabla 1. Asignación de velocidades y tiempos para el modelo de Accesibilidad

Tipo de vía	Velocidad (nivel de tráfico fluido)	Tiempo (seg)
Autovia (doble calzada)	110 km/h	0,03
Carretera	70 km/h	0,05
Travesía	30 km/h	0,13
Calle	20 km/h	0,17
Camino	20 km/h	0,17
Senda	10 km/h	0,33
Cortafuego	8 km/h	0,5
Sin viario (acceso a pie)	4 km/h	1

Tabla 2. Asignación de valores por reclasificación del factor Accesibilidad a nudos

Intervalo original	Valor asignado
0 - 300 seg.	7
300 - 600 seg.	6
600 - 1200 seg.	5
1200 - 1800 seg.	4
1800 - 2700 seg.	3
2700 - 3600 seg.	2
> 3600 seg.	1

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

Tabla 3. Asignación de valores por reclasificación del factor Accesibilidad a entornos urbanos

Intervalo original	Valor asignado
0 - 60 seg.	7
60 - 120 seg.	6
120 - 180 seg.	5
180 - 240 seg.	4
240 - 300 seg.	3
300 - 600 seg.	2
< 600 seg.	1

Tabla 4. Asignación de valores por reclasificación del factor Usos

Intervalo original	Valor asignado
Urbanizable	7
Improductivo	6
Matorral - pastizal	5
Secano - olivar	4
Regadío	3
Arbolado	2
Invernaderos	1

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

Tabla 5. Asignación de valores por reclasificación del factor Orientación

Intervalo original	Valor asignado
140° - 220°	7
100° - 140°	6
220° - 260°	5
20° - 100°	4
260° - 340°	3
0° - 20°	2
340° - 360°	1

Tabla 6. Asignación de valores por reclasificación del factor Fruición visual

Intervalo original	Valor asignado
> 20 puntos	7
15 - 20 puntos	6
10 - 15 puntos	5
5 - 10 puntos	4
3 - 5 puntos	3
1 - 2 puntos	2
0 puntos	1

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

Tabla 7. Tabla resumen de población y superficie de suelo demandado

MUNICIPIO	Poblacion total (padron 2004)	Poblacion estimada máxima (2010)	Crecimiento Periodo 2004-2010	Superficie de Suelo Urbano demandado en 2010 (Has)	Poblacion estimada máxima (2025)	Crecimiento Periodo 2004-2025	Superficie de Suelo Urbano demandado en 2025 (Has)	Poblacion estimada máxima (2050)	Crecimiento Periodo 2004-2050	Superficie de Suelo Urbano demandado en 2050 (Has)
ALBONDON	941	796	-145	0	522	-419	0	258	-683	0
ALBUNOL	6.054	6.853	799	10	9.846	3.792	47	18.249	12.195	152
ALBUÑUELAS	1.100	1.013	-87	0	825	-275	0	586	-514	0
ALMEGIJAR	445	589	144	2	1.178	733	9	3.222	3.222	40
ALMUNECAR	23.073	27.095	4.022	50	40.734	17.661	221	74.501	51.428	643
ALPUJARRA DE LA SIERRA	1.175	1.221	46	1	1.341	166	2	1.568	393	5
BERCHULES	788	861	73	1	1.067	279	3	1.504	716	9
BUBION	347	383	36	0	481	134	2	678	331	4
BUSQUISTAR	352	315	-37	0	235	-117	0	142	-210	0
CADIAR	1.567	1.402	-165	0	1.060	-507	0	664	-903	0
CANAR	339	390	51	1	549	210	3	937	598	7
CAPILEIRA	578	622	44	1	738	160	2	950	372	5
CARATAUNAS	204	228	24	0	301	97	1	473	269	3
CASTARAS	249	223	-26	0	170	-79	0	107	-142	0
DURCAL	6.151	6.512	361	5	7.656	1.505	19	9.984	3.833	48
GUAJARES, LOS	1.203	1.080	-123	0	825	-378	0	526	-677	0
GUALCHOS	2.621	2.667	46	1	3.095	474	6	4.137	1.516	19
ITRABO	1.031	1.096	65	1	1.307	276	3	1.767	736	9
JETE	768	839	71	1	1.044	276	3	1.502	734	9
JUVILES	178	196	18	0	246	68	1	358	180	2
LANJARON	3.757	3.869	112	1	4.173	416	5	4.735	978	12
LECRIN	2.269	2.335	66	1	2.620	351	4	3.225	956	12
LENTEJI	330	317	-13	0	285	-45	0	240	-90	0
LOBRAS	132	118	-14	0	89	-43	0	55	-77	0
LUJAR	506	516	10	0	579	73	1	721	215	3
MOLVIZAR	2.745	3.446	701	9	7.427	4.682	59	26.705	23.960	300
MOTRIL	56.049	73.821	17.772	222	161.370	105.321	1.317	363.292	307.243	3.841
MURTAS	713	690	-23	0	635	-78	0	552	-161	0
NEVADA	1.228	1.145	-83	0	960	-268	0	714	-514	0
NIGUELAS	955	950	-5	0	966	11	0	1.008	53	1
ORGIVA	5.175	5.836	661	8	7.870	2.695	34	12.893	7.718	96
OTIVAR	1.056	1.013	-43	0	911	-145	0	764	-292	0
PADUL	7.217	8.362	1.145	14	12.945	5.728	72	26.777	19.560	245
PAMPANEIRA	327	399	72	1	625	298	4	1.085	758	9
PINAR, EL	1.119	1.198	79	1	1.446	327	4	1.993	874	11
POLOPOS	1.493	1.869	376	5	3.460	1.967	25	9.685	8.192	102
PORTUGOS	415	401	-14	0	367	-48	0	316	-99	0
RUBITE	492	623	131	2	1.141	649	8	3.135	2.643	33
SALOBRENA	11.420	16.840	5.420	68	56.008	44.588	557	173.682	162.262	2.028
SOPORTUJAR	269	314	45	1	460	191	2	857	588	7
SORVILAN	694	694	0	0	700	6	0	712	18	0
TAHA, LA	793	818	25	0	883	90	1	1.002	209	3
TORVIZCON	807	692	-115	0	469	-338	0	246	-561	0
TREVELEZ	827	936	109	1	1.221	394	5	1.666	839	10
TURON	335	352	17	0	397	62	1	486	151	2
UGIJAR	2.541	2.352	-189	0	1.936	-605	0	1.399	-1.142	0
VALOR	768	662	-106	0	455	-313	0	243	-525	0
VALLE, EL	1.151	1.116	-35	0	1.080	-71	0	1.043	-108	0
VELEZ DE BENAUDALLA	2.575	2.677	102	1	2.969	394	5	3.536	961	12
VILLAMENA	988	1.160	172	2	2.097	1.109	14	5.889	4.901	61
TOTAL	158.310	189.902	31.592	408	349.764	191.454	2.440	771.214	612.904	7.745

Elaboración propia.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

FIGURAS

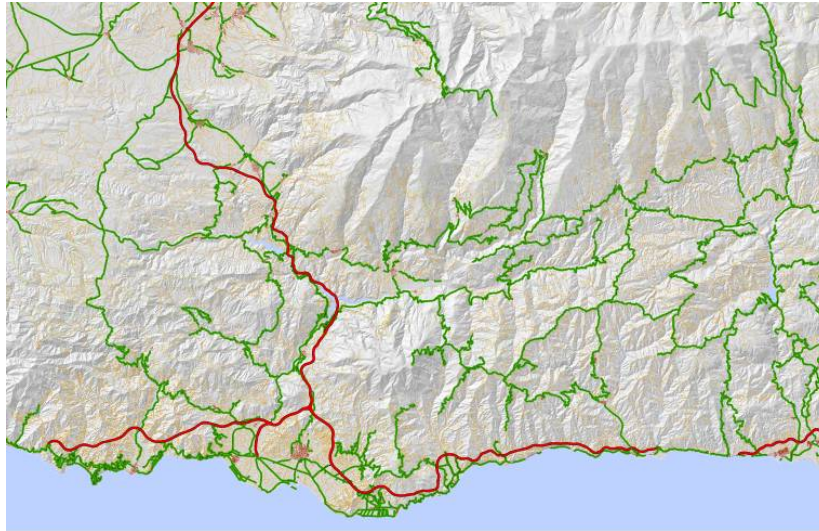


Figura 1. Red viaria actual (verde) y nuevas autovías (rojo)
Elaboración propia a partir de cartografía base del MAV10 (I.C.A.).

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

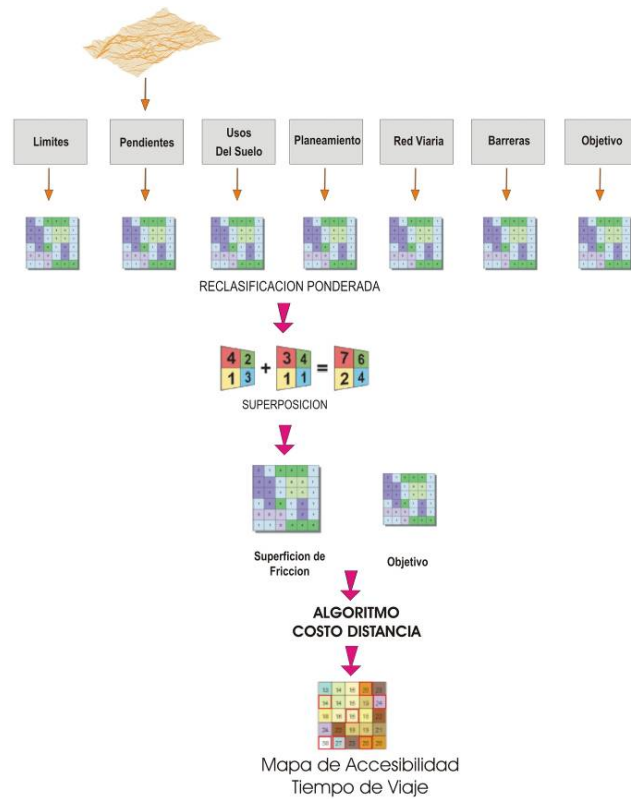


Figura 2. Diagrama metodológico simplificado del modelo de accesibilidad
Elaboración propia.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

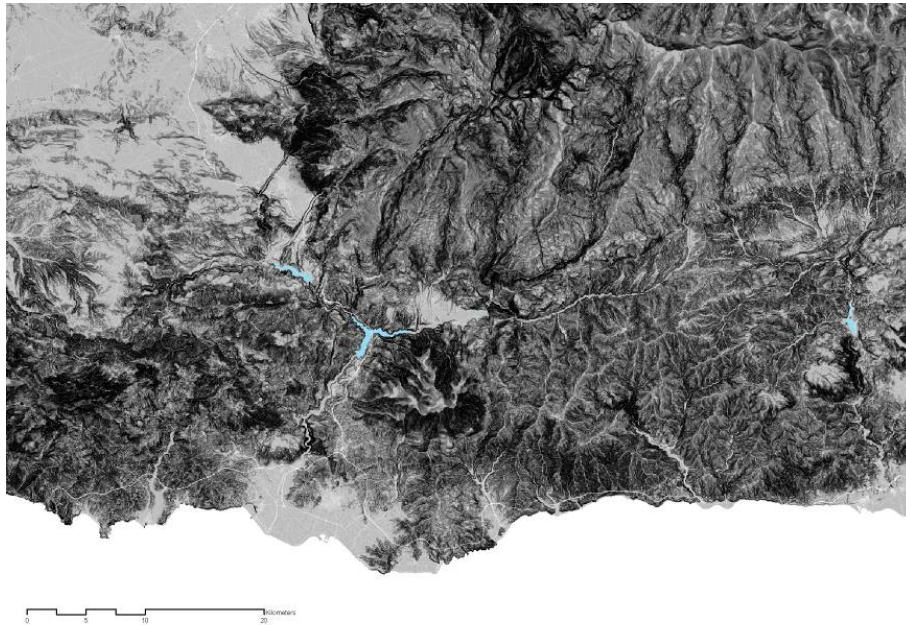


Figura 3. Superficie de fricción, base para el estudio de accesibilidad
Elaboración propia a partir del algoritmo costo-distancia de ArcGis.

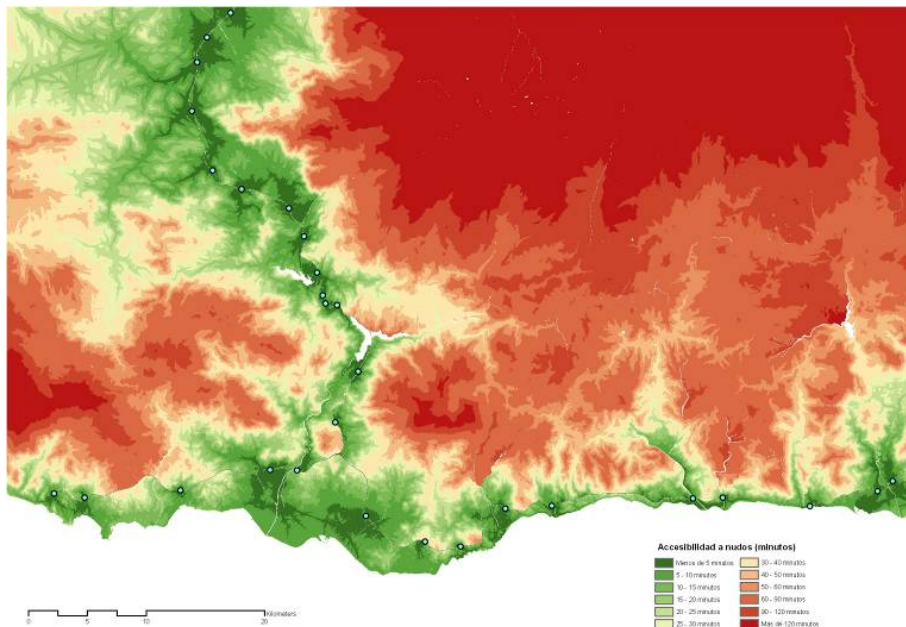


Figura 4. Factores de localización: Accesibilidad a nudos
Elaboración propia.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

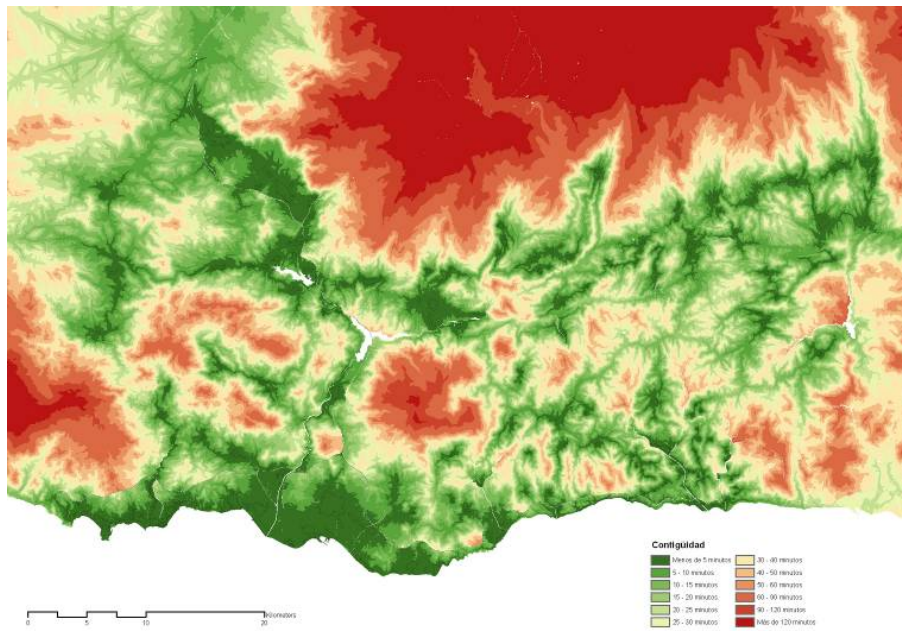


Figura 5. Factores de localización: Accesibilidad a entornos urbanos
Elaboración propia.

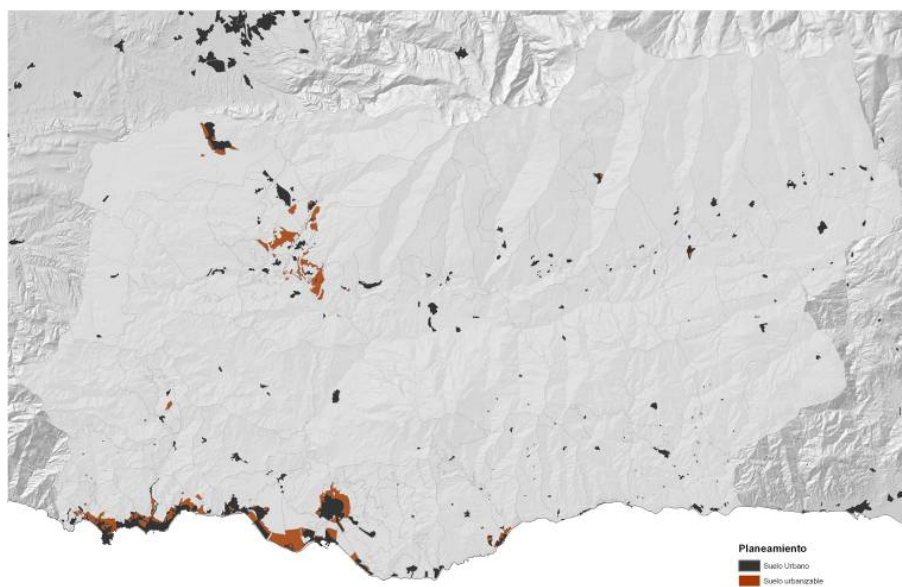


Figura 6. Planeamiento vigente
Elaboración propia.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

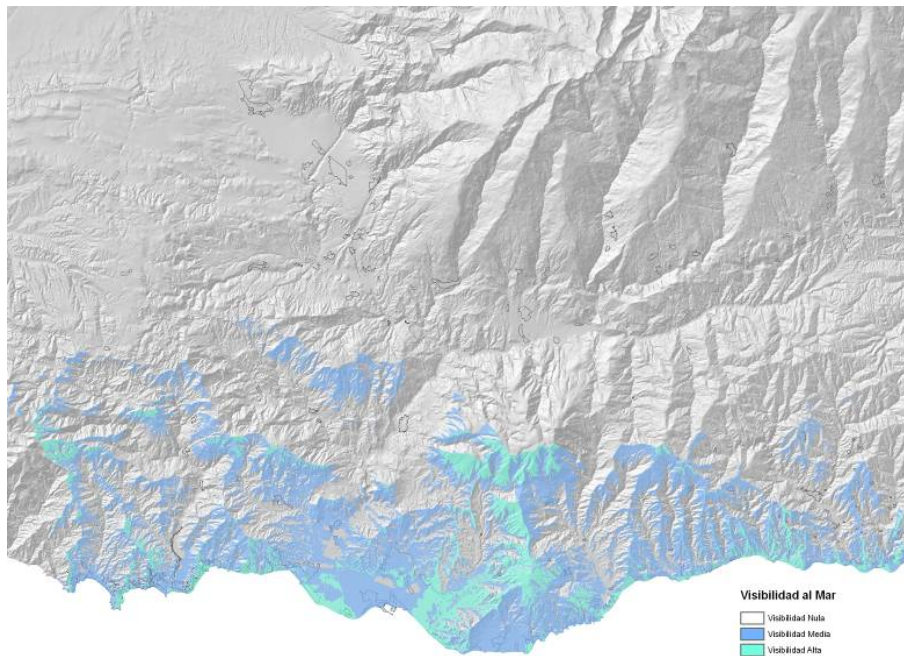


Figura 7. Factores de localización: Amplitud visual al mar
Elaboración propia.

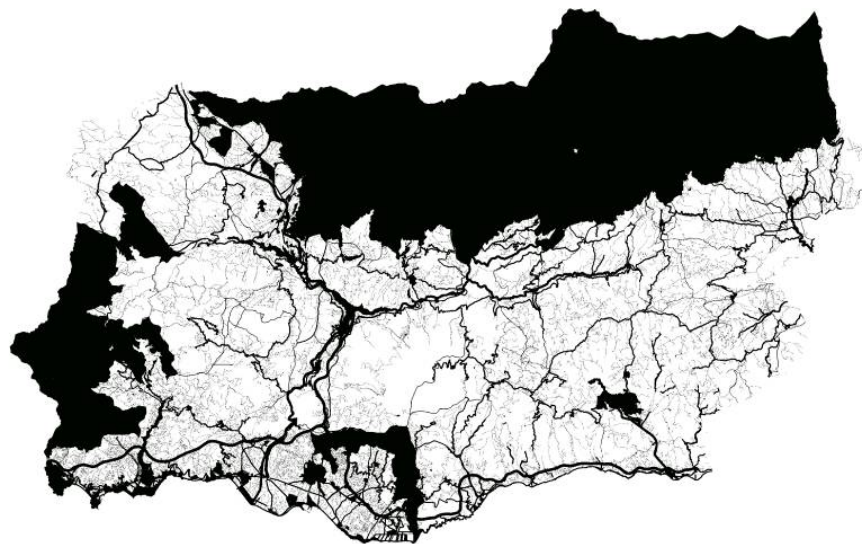


Figura 8. Restricciones o limitantes al crecimiento urbano
En negro las zonas eliminadas del modelo. Elaboración propia.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

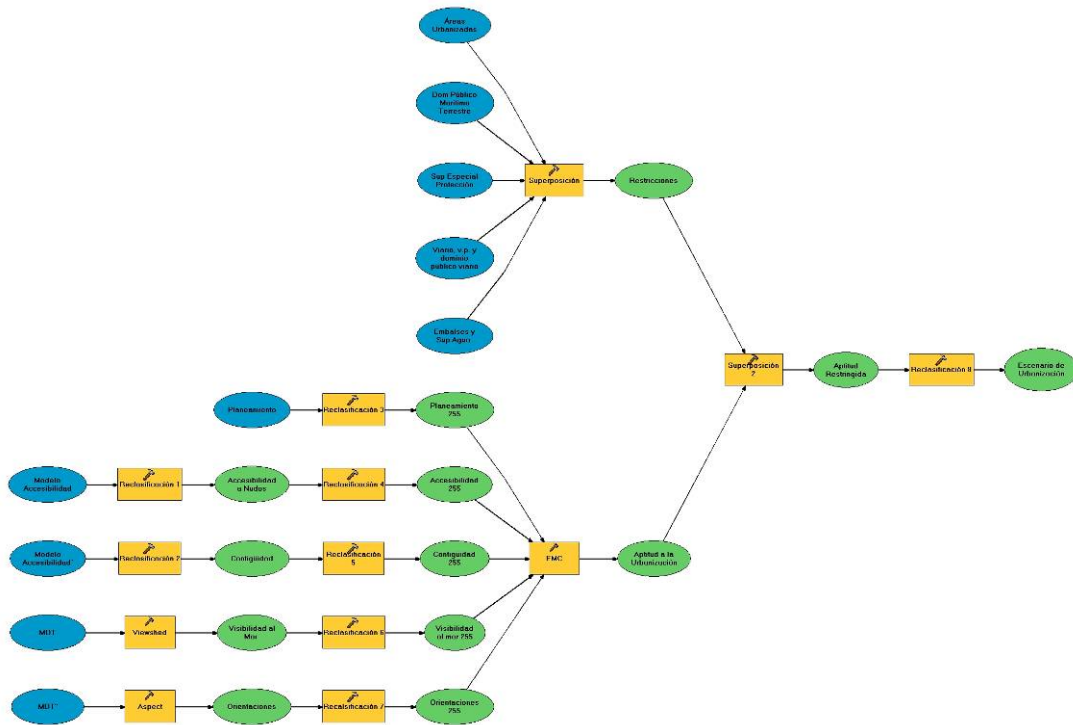


Figura 9. Modelo cartográfico de aptitud para la urbanización
Elaboración propia.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

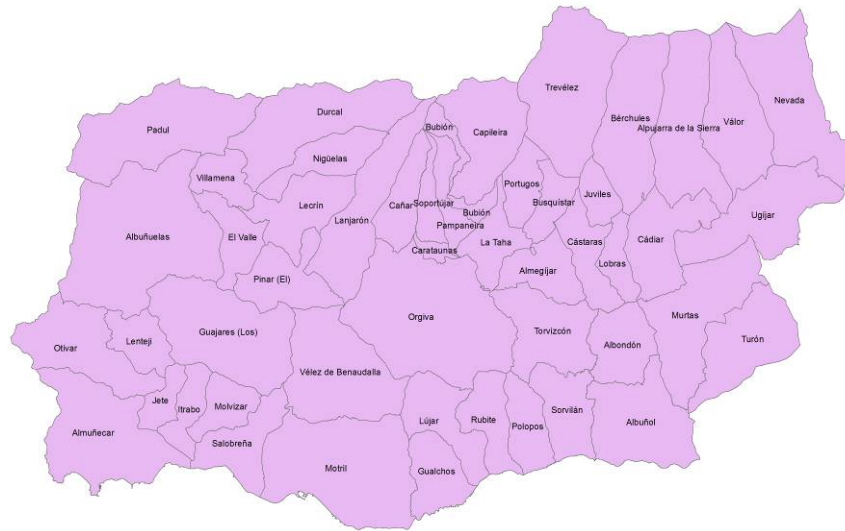


Figura 10. Municipios analizados en el estudio de la dinámica poblacional y proyección futura
Elaboración propia.

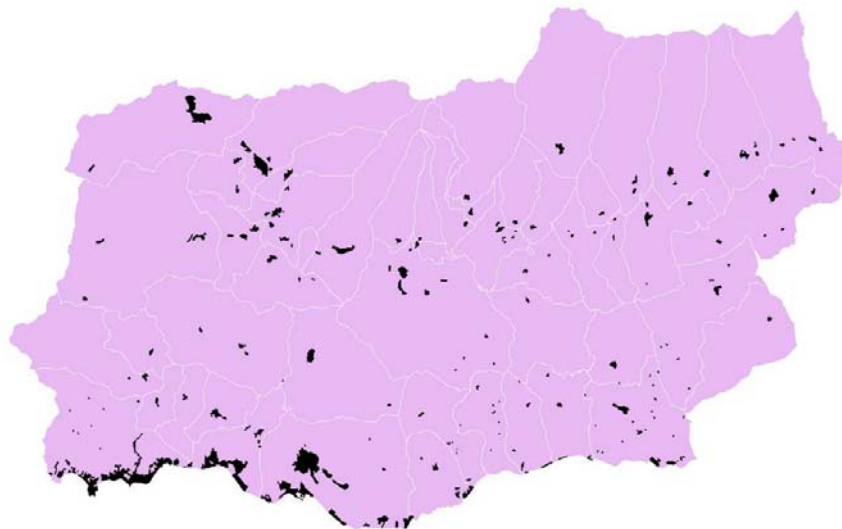
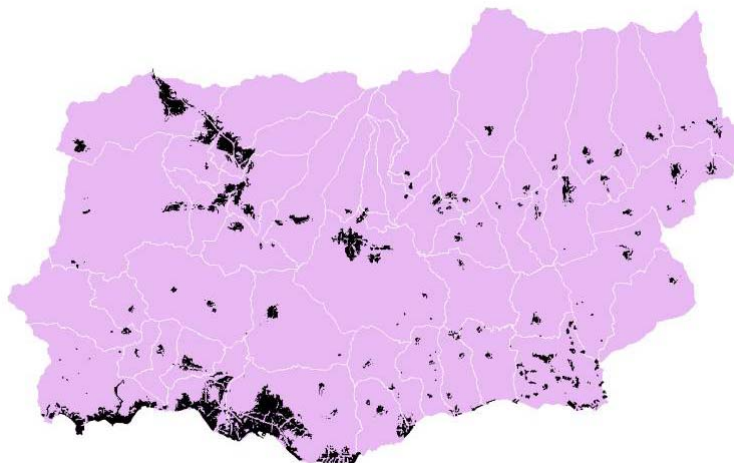
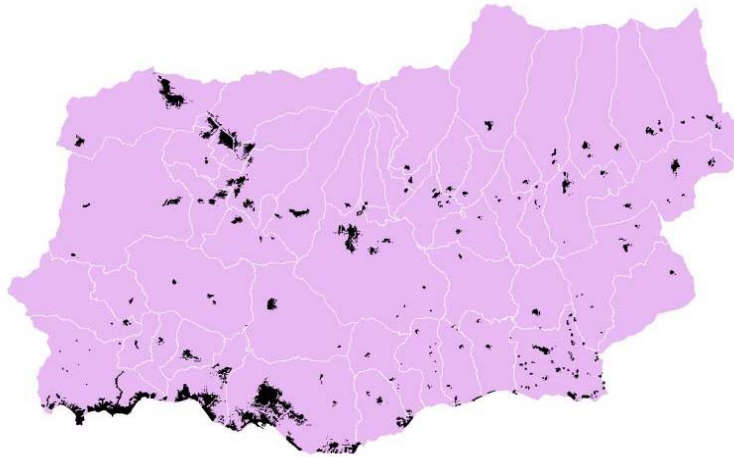


Figura 11. Superficie urbana actual. Estado inicial
Elaboración propia.

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", GeoFocus (Artículos), nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157



Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120-147. ISSN: 1578-5157

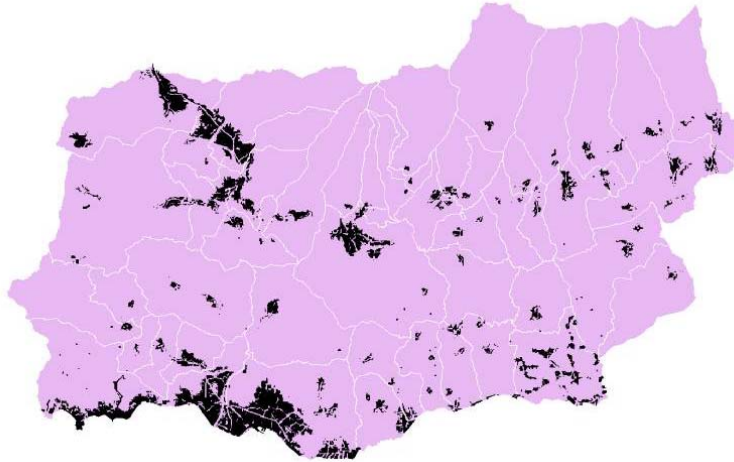


Figura 12. Escenarios de aptitud para los años horizonte 2010, 2025 y 2050
Elaboración propia.