LA MEDICIÓN Y PREVISIÓN DEL CONSUMO DE SUELO EN LAS COSTAS IBÉRICAS

MALCOLM C. BURNS Y YRAIDA ROMANO GRULLÓN

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y
Entorno [en línea]. 2012, Año 7, núm. 20 Octubre P. 115-130

ISSN: [1886-4805](https://doi.org/10.18866/1886-4805)

Website access: http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n20/articles_pdf/ACE_20_SE_22.pdf

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/12643>

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

MONITORING AND FORECASTING LAND CONSUMPTION ALONG THE IBERIAN COASTLINES

Key words: land consumption, urban development, urban sprawl

Abstract

Concern over land consumption is a reoccurring theme found within a wide range of urban policy documents just as much at the European level as at the national level. Ever increasingly, these documents refer to the importance of land being a finite resource and the need to protect land from uncontrolled urban development, and from expansive and disperse patterns of development. This article discusses a number of methodological issues arising from a line of research relating to the measurement of land consumption and the forecasting of future scenarios of urban development in a Southern European context, drawing upon remote sensing techniques and cellular automata. It is hoped that the outcome of this research will be useful, not just to provide empirical evidence and raise public awareness of the environmental risks deriving from expansive urban growth, but also to assist professionals and politicians alike in the public decision making process concerning future urban growth.

LA MEDICIÓN Y PREVISIÓN DEL CONSUMO DE SUELO EN LAS COSTAS IBÉRICAS

BURNS, Malcolm C.¹
ROMANO GRULLON, Yraida

Remisión inicial: 10-9-2012

Remisión definitiva: 20-10-2012

Palabras clave: consumo de suelo, desarrollo urbano, urban sprawl.

Resumen

El consumo de suelo derivado de la urbanización es un tema recurrente que se encuentra dentro de diversos informes sobre políticas urbanas, tanto a nivel europeo como a nivel estatal. Cada vez más, estos documentos se refieren a la importancia del suelo como un recurso finito y la necesidad de proteger el suelo del desarrollo urbano incontrolado y de los patrones de desarrollo expansivo y disperso. En este artículo se analiza una serie de cuestiones metodológicas que surgen de una línea de investigación en relación con la medición del consumo de suelo y la predicción de escenarios futuros de desarrollo urbano en un contexto del Sur de Europa, apoyándose en las técnicas de teledetección y los autómatas celulares. Se espera que el resultado de esta investigación sea útil, no sólo para proporcionar evidencia empírica y aumentar la conciencia pública de los riesgos ambientales que se derivan de un crecimiento urbano expansivo, sino también para ayudar a los técnicos y los políticos por igual en el proceso de la toma de decisiones públicas sobre el futuro crecimiento urbano.

1. Introducción

Frenar el consumo de suelo derivado de la urbanización es uno de los retos territoriales más importantes de la actualidad tanto a nivel europeo como a nivel estatal. Es un tema recurrente que se encuentra dentro de diversos informes sobre políticas urbanas, territoriales y ambientales. Antes del cambio de siglo la *Estrategia Territorial Europea* (en adelante, ETE) (CE, 1999) hizo referencia explícita al problema de la “progresión del crecimiento disperso de las ciudades” (CE, 1999, sección 2.1.3).

En 2006 la Agencia Europea de Medio Ambiente (en adelante, por sus siglas en inglés, EEA) puso de relieve de manera alarmante los riesgos de la dispersión urbana e hizo una llamada para corregir dichos procesos y evitar las consecuencias económicas, sociales y medioambientales (EEA, 2006a). El año siguiente la expansión descontrolada del territorio

¹ **Malcolm C. Burns:** Centre de Política del Sòl i Valoracions, Univeritat Politècnica de Catalunya. c/ Jordi Girona, 31 (Torre Girona), 08034 Barcelona. Email de contacto: malcolm.burns@upc.edu

apareció como uno de los nuevos desafíos territoriales en la *Agenda Territorial de la Unión Europea* (CE, 2007a)² y la *Carta de Leipzig sobre ciudades europeas sostenibles* (CE, 2007b) recomendó las ventajas de un sistema urbano compacto como base para la utilización eficiente y sostenible de recursos, contribuyendo a la prevención de la dispersión urbana.

Estas mismas preocupaciones se ven expresadas de manera más genérica en *EUROPA 2020*, la estrategia de crecimiento de la Unión Europea para el periodo hasta el año 2020, con las tres prioridades fundamentales que se refuerzan mutuamente, es decir, el crecimiento inteligente, sostenible e integrador (CE, 2010).

En el marco de la actualización de la *Agenda Territorial de la Unión Europea*, el *Background document for the Territorial Agenda of the European Union 2020* (CE, 2011a y 2011b) hace referencia específica al peligro de la expansión urbana descontrolada tanto en el sur de Europa, debido a la vulnerabilidad de los ecosistemas del litoral, como en la parte occidental de Europa, debido a los problemas resultantes en muchas áreas metropolitanas en procesos de expansión. El documento ofrece la recomendación que las políticas urbanas en ciudades en procesos de crecimiento (city-regions) tienen que conciliar el proceso de *urban sprawl* con el objetivo de mejorar la calidad de vida en las ciudades. Además en cuanto a los diferentes conflictos de uso del suelo y las crecientes áreas artificiales³ expresa que:

“Uno de los principales motores del cambio ambiental es la forma en que el suelo - un recurso finito- se utiliza. A su vez, el cambio ambiental y el cambio climático en particular, influirán cada vez más el uso de suelo en Europa. Aunque la tasa general del cambio de uso del suelo en Europa ha disminuido desde la década de los 90, áreas naturales y semi-naturales, ricos en biodiversidad, siguen disminuyendo. Esto se debe en parte a que son utilizados por la agricultura, pero sobre todo porque se están convirtiendo en bosques. La extensión de las superficies artificiales también contribuye a aumentar el consumo de suelo. Las áreas costeras y las zonas de montaña se encuentran entre las regiones más afectadas de Europa” (CE, 2011b: 45).

En cuanto a los desafíos energéticos que están amenazando la competitividad regional, la propia *Agenda Territorial* (CE, 2011a) advierte que la expansión urbana contribuye a altas e insostenibles tasas de consumo de energía.

Un informe de la EEA publicado en 2012 destaca las consecuencias de la pérdida de suelo agrícola, a raíz de una intensificación de las prácticas agrícolas en muchas áreas, junto con la expansión urbana, las redes de transporte y otras superficies artificiales, y las cargas de contaminación más altas en las cuencas de agua (EEA, 2012).

A nivel estatal, en España dichas inquietudes se vieron reflejadas en el *REAL DECRETO LEGISLATIVO 2/2008, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de suelo* (Ministerio de Vivienda, 2008). La legislación urbanística española apuesta por el

² También el tema está tratado en el Background Document sobre *The Territorial State and Perspectives of the European Union* (CE, 2007c).

³ Aquí se utiliza el término artificial para distinguir entre el suelo urbanizado y el suelo en su estado natural, es decir, tanto un campo de golf como una urbanización representan una artificialización en el uso del suelo.

desarrollo sostenible, minimizando el impacto del crecimiento urbano e incentivando la regeneración de la ciudad existente, y respalda las políticas europeas que fomentan un modelo de ciudad compacta, advirtiendo de las consecuencias de la urbanización dispersa y desordenada. Existe el reconocimiento de que “el suelo, además de un recurso económico, es también un recurso natural, escaso y no renovable” (Ministerio de Vivienda, 2008: 28483).

La *Estrategia Española de Sostenibilidad Urbana y Local* (en adelante, EESUL) (MMAMRM Y MFOM, 2009), publicada inicialmente para consultación pública a finales de 2009, propuso una serie de objetivos para cada uno de los ámbitos temáticos tratados. Tanto para el ámbito del *desarrollo territorial y urbano*, como para el de la *edificación*, la EESUL destaca la necesidad de minimizar el consumo de suelo y de apostar por el modelo de ciudad compacta, frente al consumo indiscriminado de suelo rural y la construcción de obra nueva.

Mientras esta documentación europea y estatal enfoca el tema de la dispersión urbana en general, también se cuenta con otra dirigida específicamente al tema de desarrollo urbano y territorial en las zonas costeras. Para contribuir al desarrollo de una gestión integrada de las zonas costeras (en adelante, por sus siglas en inglés, ICZM) la EEA elaboró un informe de diagnóstico sobre los ecosistemas costeros europeos (EEA, 2006b)⁴. Este informe destaca la presión resultante de una expansión urbana descontrolada en general en las zonas costeras, y en particular el aumento de las superficies artificializadas durante el periodo 1990-2000 en las zonas costeras de Portugal, Irlanda y España. El *mensaje* sobre ecosistemas costeros publicado en agosto de 2010 por la EEA, parte de la serie '*10 mensajes para 2010*', reafirma el preocupante aumento en la artificialización de zonas costeras durante el periodo 2000-2006 (EEA, 2010b).

En España durante 2007-2008, en un contexto de preocupación generalizada en toda la sociedad por el creciente número de casos de corrupción urbanística, el diario *El País* publicó una serie de artículos bajo el título de '*La destrucción del litoral*', examinando casos de expansión urbana en todas la Comunidades Autónomas de la franja litoral mediterránea, así como la urbanización de la franja litoral de Asturias, Cantabria, Galicia y el País Vasco (El País, 2007 y 2008). Según Greenpeace, entre 1987 y 2005 más de 50.000 ha de suelo natural ha sido destruido en España. “En el arco mediterráneo casi un 60% de las playas está en entornos urbanizados. (...) en 1987 el 16% de los dos primeros kilómetros de litoral desde la ribera del mar era artificial, en el año 2000 pasó a ser el 19% y el 23% para 2005. En el área litoral mediterránea las cifras son más alarmantes: 22%, 26% y 34% respectivamente” (Greenpeace, 2012: 7).

Tal y como puso de relieve el estudio del EEA sobre las zonas costeras (EEA, 2006b), el espacio costero mediterráneo es una de las áreas sometidas a mayor presión de urbanización, no solamente de la Península Ibérica, sino de la Unión Europea. En este informe tres franjas del litoral español mediterráneo presentan más de 45% de zonas urbanas en el primer km desde la línea del mar. Dichas franjas son las de las Provincias de Barcelona, Alicante y Málaga.

⁴ Coincidiendo con la publicación de un informe resumen titulado, en la versión española, *La degradación continuada de los litorales europeos amenaza el nivel de vida de los ciudadanos* (EEA, 2006c).

Al comienzo de octubre de 2012, el Consejo de Ministros del Gobierno Español aprobó una reforma de la ley de Costas de 1988. Dicha ley concedió a los propietarios de construcciones edificadas fuera de normativa o en espacios protegidos 30 años de disfrute, pasados los cuales, supuestamente en el año 2018, la propiedad pasaría al Estado y debían comenzar las demoliciones, devolviendo el litoral a su estado *natural*. No obstante esta reforma alarga la concesión por otros 75 años, es decir, garantiza el disfrute y explotación de las construcciones irregulares durante tres generaciones. La ley no permitirá la construcción en zonas protegidas, pero sí permitirá “reducir el espacio considerado de dominio público y la servidumbre de protección pasa de 100 a 20 metros en algunos lugares, previo para que los Ayuntamientos admitan construir en el espacio liberado. La norma abre pues la puerta a nuevas invasiones como las que ya han destrozado una parte del litoral, en una visión miope que sacrifica la calidad paisajística y ambiental a la satisfacción de intereses privados vinculados a la construcción. Los mismos intereses que han dejado parte de la costa convertida en un mar de cemento” (El País, 2012).

Todo lo anterior se expone el contexto general en el cual desde hace varios años la Universidad Politécnica de Cataluña (en adelante, UPC)⁵ ha estado desarrollando una línea de investigación en el territorio del Suroeste europeo en un intento de cuantificar y pronosticar el consumo de suelo y la expansión urbana, con un enfoque especial más recientemente en las zonas costeras de la Península Ibérica. Dicha investigación ha sido posible gracias a una serie de proyectos competitivos contando con apoyo público del Gobierno Español⁶ así como la Unión Europea⁷. Esta línea de investigación sigue en un camino similar a otros proyectos de ámbitos europeos que intentan explicar la expansión urbana experimentada históricamente y hacer una incursión en la dimensión prospectiva, como son los casos de *MOLAND*⁸ y el *GMES URBAN ATLAS*⁹. Lo que unifica esta línea de trabajo con los otros proyectos mencionados es el hecho de llevar a cabo la investigación con el concurso de tecnologías de la información y la comunicación de remote sensing así como modelización para generar simulaciones de los escenarios futuros.

El más reciente proyecto de investigación de este ámbito -*El desarrollo de una plataforma para el modelado prospectivo de los procesos de urbanización en las zonas costeras*- tiene el objetivo de la elaboración de una *plataforma que permita evaluar los procesos de urbanización*

⁵ A través de su Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV).

⁶ *Barcelona y Madrid ¿dos modelos de urbanización convergentes?* [2003-2006] (BIA2003-07176 del Ministerio de Educación y Ciencia); *El proceso de urbanización en la costa mediterránea: ¿hacia un modelo insostenible de ocupación de suelo? Un análisis retrospectivo (1956-2006) y prospectivo (2006-2026)* [2006-2009] (MEC - SEJ2006-09630); *20 X 50 Veinte paisajes por cincuenta años – 1956-2006 – estudio realizado para el Ministerio de Vivienda en el periodo 2007-2008*; y *El desarrollo de una plataforma para el modelado prospectivo de los procesos de urbanización en las zonas costeras* [2010-2012] (CSO2009-09057) del Ministerio de Ciencia e Innovación.

⁷ *La expansión urbana de la metrópolis del SUDOE*, (EURMET) del Programa INTERREG IIIB de la Unión Europea [2003-2005].

⁸ Véase el Monitoring Land Use / Cover Dynamics (MOLAND) proyecto, que está contribuyendo al desarrollo del European Land Use Modelling Platform <<http://ies.jrc.ec.europa.eu/our-activities/scientific-achievements/Land-Use-Modelling-Platform.html>> [Consulta: 18 de setiembre de 2012]

⁹ El Urban Atlas proporciona datos comparables sobre el uso de suelo y la cobertura del suelo para los “grandes zonas urbanas” con más de 100.000 habitantes, según la definición de la Auditoría Urbana. Se pueden descargar los datos de SIG junto con un mapa para cada área urbana cubierta y un informe con los metadatos. Hasta la fecha los datos están disponibles para los casos de Alicante, Badajoz, Barcelona, Córdoba, Gijón, Las Palmas, Logroño, Madrid, Málaga, Murcia, Oviedo, Palma de Mallorca, Pamplona Iruna, Santander, Santiago de Compostela, Santa Cruz de Tenerife, Sevilla, Toledo, Valladolid, Valencia, Vigo, Vitoria-Gasteiz y Zaragoza en España, y Aveiro Braga, Coimbra, Faro, Funchal, Lisboa, Oporto, Ponta Delgada y Setubal en Portugal. <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>> [Consulta: 18 de setiembre de 2012]

llevados a cabo, así como *anticipar la expansión de los mismos* en un futuro más o menos cercano (2010-2025). El proyecto parte de la *hipótesis* de que las actuales herramientas de modelado del desarrollo urbano pueden ser de gran utilidad para el diseño de las políticas territoriales de las Administraciones Públicas.

Por supuesto que el crecimiento de las áreas urbanas es un proceso dinámico que resulta de un conjunto extraordinariamente complejo de interacciones y que el futuro es un espacio *abierto* que no es posible predecir con precisión, y menos aún por simples métodos inductivos. Sin embargo, la cuantificación y caracterización del crecimiento pasado así como la comprensión de las fuerzas que lo han orientado permiten, gracias a las nuevas técnicas desarrolladas en las últimas décadas, la generación de modelos prospectivos de gran utilidad para el planeamiento territorial. Estas nuevas técnicas permiten advertir con precisión de los peligros ambientales, económicos y sociales que conllevan los procesos de urbanización en curso, así como proponer instrumentos de análisis útiles para la futura planificación urbana y territorial.

Este artículo ofrece unos comentarios metodológicos en cuanto a la medición y previsión del consumo de suelo en España, resultantes de la realización de los proyectos de esta línea de investigación de la UPC.

2. Comentarios metodológicos

2.1 La definición de ámbitos de estudio

Uno de los aspectos críticos de trabajos de estas características es la definición de las áreas de estudio para permitir un análisis pormenorizado. Dentro del marco general de este proyecto y una amplia tradición del equipo investigador en la delimitación de áreas urbanas¹⁰, se ha desarrollado una metodología para la delimitación de los ámbitos de estudio: los *sistemas urbanos y metropolitanos*. Esta metodología está basada en el *valor de interacción* (en adelante, VI)¹¹ definido en Roca y Moix (2005), siguiendo a Coombes y Openshaw (1982), a través de un modelo gravitatorio que utiliza como datos de partida la matriz de flujos residencia-trabajo de base local y aplicándola a todo el territorio Español y Portugués.

El proceso de delimitación comprende tres fases:

a) Generación de *protosistemas* a partir del *Valor de Interacción*.

Se agregan las entidades locales de base en sistemas locales, llamados protosistemas en este trabajo, en virtud de su máximo valor de interacción, de forma que esos protosistemas se cierran tan solo en el caso de que todas las entidades tengan su máximo valor de interacción con otra entidad del mismo protosistema y que el conjunto sea físicamente contiguo. Los

¹⁰ Véase por ejemplo CPSV (2001); Roca, Moix y Burns (2004); Roca y Moix (2005); Roca, Marmolejo y Moix (2010); y Roca, Arellano y Moix, (2011).

¹¹ $VI_{ij} = \frac{F_{ij}^2}{POR_i \cdot LTL_j} + \frac{F_{ji}^2}{POR_j \cdot LTL_i}$, donde F_{ij} representa los trabajadores que viven en el municipio i y que trabajan en el municipio j ; POR_i representa la población ocupada residente en el municipio i ; y LTL_i puestos de trabajo localizados en el municipio i .

protosistemas representan, de esta forma, las piezas básicas en que se estructura el territorio urbano, metropolitano o regional;

b) Consolidación de los protosistemas en *Sistemas Urbanos* por autocontención.

Los protosistemas se consolidan en sistemas urbanos en caso de que la autocontención (porcentaje de población ocupada residente, en adelante POR, que trabaja en el propio municipio o *protosistema*) sea igual o supere el 50%, puesto que se entiende que sólo puede llamarse *ciudad* a aquellos sistemas urbanos capaces de retener al menos un 50% de la población ocupada residente. Dichos sistemas urbanos se entiende configuran las ciudades reales, más allá de los límites administrativos convencionales; y finalmente

c) Agrupación jerárquica de los Sistemas Urbanos en *Sistemas Metropolitanos*, según el Valor de Interacción.

Los sistemas urbanos se agregan nuevamente en función a su máximo valor de interacción, conformando sistemas territoriales cada vez más extensos, que a determinada escala puede entenderse representando áreas metropolitanas. A los efectos de este trabajo se ha escogido el valor de interacción del 1‰, como elemento determinante de identificación metropolitana.

La Figura 1 muestra los resultados de la aplicación de esta metodología al ámbito territorial de España, con la definición de los 1.314 sistemas urbanos y a posteriori los 162 sistemas metropolitanos agrupados.

Figura 1. Los sistemas urbanos y sistemas metropolitanos generados como resultado de la aplicación del Valor de Interacción

Sistemas urbanos	Sistemas metropolitanos

1.314 Sistemas Urbanos consolidados (Autocontención > 50%)	162 Sistemas Metropolitanos agrupados (VI > 1‰). 569 no agrupados

Fuente: elaboración propia.

En el caso portugués, aunque las matrices de flujos residencia - trabajo fueron disponibles del Censo de 2001 a nivel municipal (*concelho* - *concelho*), el problema encontrado fue que las unidades administrativas eran demasiado grandes para delimitar Sistemas Urbanos; y a nivel inframunicipal (*freguesia* - *concelho*), el problema era que las unidades de origen y destino eran diferentes. Con el fin de superar este problema metodológico derivado de las diferencias en las

unidades administrativas, se elaboró un modelo alternativo para distribuir los destinos¹², de *concelho a freguesia*, calibrando los parámetros a partir de la matriz *concelho - concelho* y conociendo los desplazamientos que se quedan en la misma *freguesia* (dato que sí recoge el Censo), el total de trabajadores del sector privado que hay en cada *freguesia*, además de la población y las *freguesias* sedes de *concelho*. Véase Moix et al. (2012) para una explicación detallada sobre la delimitación de los sistemas urbanos en Portugal.

Este proceso de delimitación ha permitido la selección de cuatro ámbitos costeros reales para servir como casos de estudio: Barcelona¹³, Alicante¹⁴ y La Coruña¹⁵ en España; y Portimao¹⁶ en Portugal¹⁷.

2.2 La medición de extensiones urbanas

En los trabajos comparativos que intentan cuantificar el nivel de expansión urbana experimentado de manera dinámica, es imprescindible saber la extensión urbana de un ámbito al comienzo y al final del periodo estudiado. Esta información no suele ser disponible, por lo tanto es necesario llevar a cabo una serie de tareas laboriosas que permiten hacer esta evaluación.

También se ha implementado una metodología para la *georeferenciación y rectificación de imágenes aéreas históricas* (pancromáticas) y su *comparación con imágenes satelitales actuales*, posibilitando realizar el *análisis retrospectivo* de las dinámicas de urbanización (Figura 2).

Figura 2. La superposición de una imagen histórica sobre una imagen actual

Fuente: Elaboración propia.

¹² Aplicando un modelo gravitatorio constreñido en el origen.

¹³ Un ámbito territorial de 269 km² con una población (2009) de 2.622.758 habitantes.

¹⁴ Un ámbito territorial de 455 km² con una población (2009) de 466.801 habitantes.

¹⁵ Un ámbito territorial de 608 km² con una población (2009) de 404.641 habitantes.

¹⁶ Un ámbito territorial de 402 km² con una población (2001) de 68.272 habitantes.

¹⁷ Hay que poner de relieve que tanto en el caso español como en el caso portugués, los nuevos ámbitos territoriales delimitados están estructurados a partir de las piezas claves de las unidades administrativas correspondientes.

La georeferenciación de imágenes históricas permite interpretar y digitalizar los contornos de la extensión urbana, y a continuación cuantificar las superficies de dichos contornos (Figura 3).

Figura 3. Ejemplo de la digitalización de un contorno urbano (a) y la creación de un polígono para cuantificar el suelo artificializado b)

Fuente: Elaboración propia.

Esta metodología ha hecho posible determinar con precisión los usos de suelo urbanizado y no urbanizado, y los procesos de *artificialización* del territorio y de dispersión del fenómeno urbanizador.

2.3 La detección de usos de suelo

La línea de investigación ha permitido el desarrollo de una metodología semiautomática de detección de usos de suelo, mediante el análisis de imágenes satélite. La metodología aplicada ha clasificado el uso del suelo artificializado a través de técnicas de teledetección basadas en las características espectrales del píxel (*pixel-based classification*). El procedimiento comprende 4 fases tal como se ve en la Figura 4. En el caso específico de las imágenes *Landsat* que se utilizan, el tamaño del píxel es de 30 metros. Las imágenes ya clasificadas pertenecen a los años 2000 y 2010.

Figura 4. Las fases del procedimiento para la detección de usos de suelo

Fuente: Elaboración propia.

La clasificación realizada delimita básicamente el *suelo urbano*, y en particular *zona urbana residencial* (de alta y baja densidad), *asentamientos industriales* y *movimientos de tierras*. El proceso metodológico utilizado ha arrojado muy buenos resultados en la definición de dichas categorías (Figura 5).

Figura 5. La detección de suelo urbano (rojo) y suelo de actividad industrial (claro) en el entorno de Barcelona

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de esta metodología a lo largo de toda la extensión del litoral mediterráneo basándose en el CORINE Land Cover Project 1990, 2000 y 2006, ha permitido detectar que la mayoría del suelo se ha “consumido en las primeras líneas de la costa y alrededor de grandes núcleos urbanos consolidados” (Colaninno y Roca, 2012a: 28). Si en 2000 el primer kilómetro del litoral estaba urbanizada en un 22%, en 2006 este porcentaje había subido a un 30% que era casi el doble del grado de urbanización en el segundo kilómetro, con porcentajes considerablemente más inferiores a distancias de 20 a 40 kilómetros¹⁸.

2.4 El análisis prospectivo del consumo de suelo a través de autómatas celulares

Tal como se explicó en la Introducción, esta línea de investigación busca el desarrollo de nuevas metodologías prospectivas para generar simulaciones realistas de los escenarios futuros de desarrollo de la urbanización en el litoral ibérico. Dichas metodologías deben permitir la incorporación de políticas de planificación alternativas, así como anticipar fenómenos emergentes. El estudio ha hecho un avance en el desarrollo de la metodología de aplicación de *autómatas celulares* (en adelante, CA) y su aplicación sistemática en el análisis de modelos prospectivos de planificación urbana y territorial.

Inicialmente se ha desarrollado el modelo CA basado en el ámbito de estudio de la Región Metropolitana de Barcelona (en adelante, RMB)¹⁹, considerando su estructura administrativa y urbana. El modelo CA está diseñado de manera generalizada, para permitir su aplicación a otros ámbitos de estudio, de dimensiones variables, en diferentes contextos geográficos y urbanísticos.

¹⁸ Para un análisis mucho más detallado y enfocado en el caso de Cataluña, véase Colaninno y Roca (2012a y 2012b).

¹⁹ Un ámbito territorial que comprende 164 municipios, con una extensión de aproximadamente 3.250 km² y una población de unas 4,4 millones de habitantes.

Un primer modelo (Figura 6) está a una *macroescala*, proporcionando unos resultados de calibración para la RMB, con los términos municipales como las unidades espaciales, que busca simular la población, el empleo y el suelo urbanizado.

Figura 6. Simulaciones en la RMB a una *macroescala* a través de *autómatas celulares*

Fuente: Elaboración propia.

Un segundo modelo (Figura 7) está a una *microescala*, facilitando unos resultados otra vez para la extensión territorial de la RMB, tomando las secciones censales como las unidades espaciales, que en este caso busca simular el suelo urbanizado únicamente.

Figura 7. Simulaciones en la RMB a una *microescala* a través de *autómatas celulares*

Fuente: elaboración propia

2.5 La dispersión y fragmentación de la urbanización

La línea de investigación está vinculada a la conceptualización y caracterización del proceso de dispersión y fragmentación de la urbanización a lo largo de la costa ibérica, así como de definición y estudio del fenómeno del *sprawl*.

Se ha realizado un análisis con una serie de indicadores urbanos, siendo aplicados en todos los *sistemas urbanos* que comprenden la costa ibérica (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores aplicados

VARIABLE	INDICADOR	FÓRMULA	UNIDADES
Población	Expansión de la población	Pob. 2006 – Pob. 1990	Habitantes
Suelo artificializado	Expansión del suelo artificializado	SA 2006 – SA 1990	Km ²
Suelo artificializado Límite administrativo	Porcentaje de ocupación 2006		%
Suelo artificializado Población	Consumo de suelo 2006	SA / Población	M ² / hab.
Suelo artificializado Población	Densidad neta	Población / SA	Hab. / Km ² SA
Límite administrativo Población	Densidad bruta	Población / LA	Hab. / Km ² LA
Suelo artificializado	Fragmentación		-
Urbano residencial continuo Urbano residencial discontinuo Industrial Aeropuertos y puertos Zonas en construcción, escombros y vertederos	Expansión por usos del suelo artificializado	SA (i) 2006 – SA (i) 1990	Km ²
Lugares de trabajo localizados (LTL)	Expansión de LTL	LTL 2001 – LTL 1991	
Viviendas	Expansión viviendas principales / no principales	Viv. 2001 – Viv. 1991	Viviendas
Viviendas Suelo artificializado	Densidad de viviendas	Viv. / SA	Viv. / Km ² SA
Viviendas Población	Consumo de población vivienda	Pob. / Vivienda	Hab. / m ²

Fuente: Elaboración propia.

La importancia de aplicar estos indicadores radica en que a través de ellos podemos obtener un análisis de distintos periodos, que arroja un diagnóstico detallado y que permite identificar el patrón y el modelo de crecimiento en cada ámbito en particular.

Los indicadores aplicados en los casos de estudio en España, muestran tres territorios con un patrón de crecimiento y modelos distintos. Barcelona presenta un territorio con altos porcentajes de ocupación y con el menor registro en el aumento de la superficie de suelo artificializado, siendo también el sistema urbano más denso y compacto. Por al contrario, en un modelo de ocupación y desarrollo opuesto, el sistema urbano de Alicante muestra un territorio poco ocupado y con el incremento más alto en su suelo artificializado, teniendo también las densidades más bajas y un desarrollo más disperso y fragmentado. Por último, La Coruña es el sistema urbano que presenta el menor porcentaje de ocupación e igualmente un bajo incremento de suelo artificializado, siendo este también un territorio más disperso y fragmentado, sin embargo aunque registra densidades altas a diferencia del sistema urbano de Alicante éstas solo se registran en su municipio cabecera.

3. Comentarios finales

Actualmente se está desarrollando una *plataforma de visualización* de resultados del último proyecto en esta línea de investigación. La realización de pruebas con diferentes aplicaciones y programas en software libre llevó a la decisión de optar para la utilización de ArcGIS Server como motor de la plataforma de visualización de resultados. Esto está permitiendo realizar los análisis propios de un *Sistema de Información Geográfica en modo online*, *gestionar las peticiones de información que los usuarios soliciten y mostrar animaciones temporales de los resultados*, además de la personalización del visualizador de resultados y la interfaz de usuario.

Figura 8. Prototipo de la plataforma de visualización

Fuente: Elaboración propia.

En realidad la plataforma en desarrollo representará un *modelo inteligente*, donde los resultados de los ámbitos de investigación mencionados en secciones 2.1 y 2.5 del presente artículo, cada uno de ellos con su propia complejidad, proporcionen en su conjunto la evidencia culminante de los procesos del consumo de suelo así como los escenarios futuros en los territorios estudiados. Es de esperar que esta plataforma sea útil, no simplemente para mostrar la evidencia empírica y concienciar a las poblaciones afectadas de la realidad y riesgos de los procesos urbanos experimentados en los últimos años, sino también para los técnicos y responsables de las administraciones públicas en la toma de decisión de políticas sobre crecimiento urbano.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo otorgado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) (ref. CSO2009-09057) para la realización del proyecto "Desarrollo de una plataforma para el

modelado prospectivo de los procesos de urbanización en las zonas costeras”, correspondiente al Plan Nacional I+D+I 2010-2012.

También agradecen la colaboración de otro personal del Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV) en la elaboración de este artículo, destacando las contribuciones de Montserrat Moix, Nicola Colaninno, Nuno Norte Pinto, Rolando Biere y Pau Queraltó.

Bibliografía

CE. *European Spatial Development Perspective (Estrategia Territorial Europea)*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1999.

CE. *Territorial Agenda of the European Union, Towards a more competitive and sustainable Europe of diverse regions* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <<http://www.eu-territorial-agenda.eu/Reference%20Documents/Territorial-Agenda-of-the-European-Union-Agreed-on-25-May-2007.pdf>>. 2007a.

CE. *Leipzig Charter on Sustainable European Cities* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://ec.europa.eu/regional_policy/archive/themes/urban/leipzig_charter.pdf>. 2007b.

CE (2007b) *The territorial state and perspectives of the European Union, Towards a stronger European territorial cohesion in light of the Lisbon and Gothenburg Ambitions* [en línea]. Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <<http://www.eu-territorial-agenda.eu/Reference%20Documents/The-Territorial-State-and-Perspectives-of-the-European-Union.pdf>>. 2007c.

CE. *EUROPA 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. En: *Comunicación de la Comunicación*, Bruselas. 2010.

CE. *The Territorial Agenda of the European Union 2020, Towards an Inclusive, Smart and Sustainable Europe of Diverse Regions* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <<http://www.eu2011.hu/files/bveu/documents/TA2020.pdf>>. 2011a.

CE. *The Territorial State and Perspectives of the European Union 2011 update Background document for the Territorial Agenda of the European Union 2020* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.eu-territorial-agenda.eu/Reference%20Documents/updated%20Territorial%20State%20and%20Perspective%20of%20the%20EU_May_2011_FINAL.pdf>. 2011b.

COLANINNO, N. y ROCA, J. *Un desarrollo metropolitano policéntrico: dispersión y compactación en los procesos de crecimiento urbano, a escala territorial*. En: GAJA, F. (Ed.) *DeCOASTRuction. La desconfiguración del litoral mediterráneo español*. Editorial Universitat Politècnica de València, València, 2012a, pp: 14-75.

COLANINNO, N. and ROCA, J. Sustainable territorial development and urban growth: a critical interaction. The Spanish Mediterranean Coast, and Catalonia, during the last two decades. En: *Revista ACE* [en línea] Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2012. Disponible en: <<http://www-cpsv.upc.es/ace/iNumero20.html>>. 2012b.

COOMBES, M. y OPENSHAW, S. *The use and definition of travel-to-work areas in Great Britain: some comments*. En: *Regional Studies*, 16: 141-149, 1982.

EEA. *Urban sprawl in Europe – the ignored challenge* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_10>. 2006a

EEA. *The changing faces of Europe's coastal areas* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_6>. 2006b.

EEA. *The continuous degradation of Europe's coasts threatens European living standards* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/publications/briefing_2006_3>. 2006c.

EEA. *10 messages for 2010, Urban ecosystems* [en línea]. Fecha de consulta: 16 de septiembre de 2012. Disponible en: <<http://www.eea.europa.eu/publications/10-messages-for-2010-urban-ecosystems>>. 2010a.

EEA. *10 messages for 2010, Coastal ecosystems* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <<http://www.eea.europa.eu/publications/10-messages-for-2010-coastal-ecosystems>>. 2010b.

EEA. *Territorial cohesion and water management in Europe: the spatial perspective* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <<http://www.eea.europa.eu/publications/territorial-cohesion-and-water-management>>. 2012.

EL PAÍS. *La destrucción del litoral*. 31 de octubre – 12 de noviembre de 2007.

EL PAÍS. *La destrucción del litoral / Costa norte*. 7-10 de enero de 2008.

EL PAÍS. *Amnistía en la playa*. 9 de octubre de 2012 [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://elpais.com/elpais/2012/10/08/opinion/1349722816_484374.html>. 2012.

GREENPEACE. *Destrucción a toda costa 2012, Informe sobre la situación económica y ambiental del litoral* [en línea] Fecha de consulta: 11 de octubre de 2012. Disponible en: <<http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/costas/DTC%202012.pdf>> 2012.

MMAMRM Y MFOM. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, y Ministerio de Fomento. *Estrategia Española de Sostenibilidad Urbana y Local (EESUL)* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en:

<<http://siu.vivienda.es/portal/documentos/IniciativasSostenibilidadUrbana/EESUL%20WEB%202011.pdf>>. 2011.

MINISTERIO de Vivienda. *Texto Refundido de la ley de Suelo, aprobado por real Decreto legislativo 2/2008, de 20 de junio* [en línea] Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2012. Disponible en: <<http://www.boe.es/boe/dias/2008/06/26/pdfs/A28482-28504.pdf>>. 2008.

Moix, M., Faria de Deus, R., Roca, J. y Tenedorio, J. A. *Identificación de la estructura urbana del Algarve (Portugal) mediante el Valor de Interacción*. En: *Congreso Internacional, Ciudad y Territorio Virtual* (8º, 10 al 12 de octubre de 2012, Rio de Janeiro, Brasil). En publicación. 2012.

Roca, J. y Moix, M. *The interaction value: its scope and limits as an instrument for delimiting urban systems*. En: *Regional Studies*, 39 (3): 357-373, 2005.

Roca, J., Arellano, B. y Moix, M. *Estructura urbana, policentrismo y sprawl: los ejemplos de Madrid y Barcelona*. En: *Ciudad y territorio, estudios territoriales*, XLIII (168): 299-321, 2011.

Roca, J. Marmolejo, C. y Moix, M. *Urban Structure and Polycentrism: Towards a Redefinition of the Sub-centre Concept*. En: *Urban Studies*, 46 (13): 2841-2868, 2009.

Roca, J., Moix, M. y Burns, M. *Las áreas metropolitanas españolas, Evolución 1991-2001*. Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 2004, pp: 1-50.