
XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.

Desarrollo de un Modelo Basado en Agentes para la simulación del crecimiento urbano: Submodelo de asignación de nuevo suelo urbanizable

Carolina Cantergiani^{a*}; Montserrat Gómez Delgado^a; Cesar Vergara^b

^aUniversidad de Alcalá - Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente

^bUniversidad de Sevilla - Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial

Resumen

Los Modelos Basados en Agentes (MBA) están siendo cada vez más utilizados en la simulación de sistemas espaciales complejos, como es el caso del crecimiento urbano. En la presente comunicación se introduce parte de un modelo desarrollado para la simulación de la expansión urbana en el Corredor del Henares (Madrid), concretamente el relacionado con los agentes *planificadores urbanos* que asignan nuevo suelo urbanizable en esta área de estudio. Este submodelo constituye una parte importante del modelo general, cuya simulación pretende mostrar propuestas de nuevas áreas urbanizables de acuerdo a unas determinadas preferencias espaciales. El potencial de fundamentar esta decisión en un MBA reside en una configuración flexible que permite que la importancia dada a cada capa sea modificable, posibilitando generar diferentes escenarios de simulación. El comportamiento de planificadores urbanos con diferentes perfiles – ambiental, económico, social, especulador u otros – puede ser simulado en función de los ajustes realizados en la configuración inicial. Las preferencias de estos agentes están basadas en elementos como: distancia a áreas urbanas consolidadas, transporte público o carreteras, y existencia de equipamientos de educación y salud. Los resultados muestran las posibles nuevas distribuciones de suelo urbanizable según los criterios elegidos, y se pueden ver gráficamente en la propia interfaz del programa, o generar archivos en diferentes formatos de salida.

Palabras clave: Simulación Basada en Agentes; Corredor del Henares; Crecimiento Urbano; Planificadores Urbanos; Clasificación del suelo; Escenarios de Simulación.

* E-mail: carolina.carvalho@uah.es

1. Introducción

Los Modelos Basados en Agentes (MBA) están siendo cada vez más utilizados en la simulación de sistemas espaciales complejos, como es el caso del crecimiento urbano. Consiste en un modelo celular que considera el comportamiento de los agentes del sistema para realizar una simulación. Sus principales componentes son los propios agentes, el entorno y las relaciones que existen entre ellos, plasmadas en el modelo a través de reglas de decisión (Gilbert, 2008; Cantergiani, 2011). Además, es un modelo que permite a los investigadores estudiar cómo el comportamiento del sistema emerge y está conectado a las características y comportamiento de sus componentes individuales (Railsback y Grimm, 2009), o entender cómo el propio sistema afecta al individuo (Grimm y Railsback, 2005). Aunque los MBA se hayan aplicado intensivamente en disciplinas como ecología, economía, demografía, todavía está infra explorada su aplicación a ciencias sociales, y más en concreto a estudios sobre crecimiento urbano. Las publicaciones en este ámbito son muy novedosas y sólo recientemente empiezan a salir a la luz, principalmente se trata de estudios aplicados a escala local, pero también algunos a escala supramunicipal (Sanders et al., 1997; Barros, 2004; Benenson y Torrens, 2004; Fontaine y Rousevell, 2009), que es la utilizada en esta investigación. La aplicación de MBA para simulaciones urbanas está poco a poco extendiéndose debido a su elevado potencial de modelización, lo que facilita el entendimiento de estos fenómenos complejos.

El modelo en desarrollo pretende ser una herramienta para simular la expansión urbana en el Corredor del Henares (Madrid), y consta de submodelos independientes para cada uno de los tres agentes diseñados como protagonistas de este proceso: planificadores urbanos, promotores inmobiliarios y población. Se considera que el comportamiento conjunto principalmente de estos tres agentes, induce la dinámica urbana en el área de estudio. Los tres submodelos mencionados son independientes en su elaboración, pero dependientes funcionalmente, ya que los datos de entrada y los resultados obtenidos, así como la toma de decisión final, se generan en función de los productos de los demás submodelos, conforme se indica en la Figura 1.

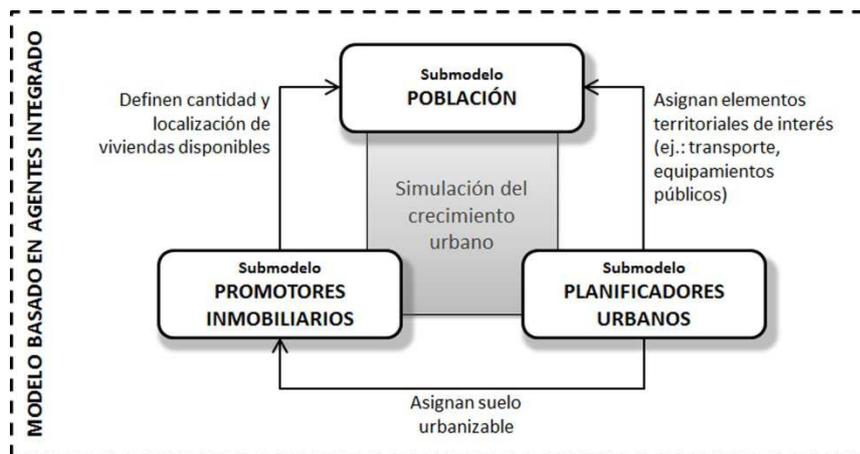


Fig. 1. Estructura del modelo basado en agentes integrado

Este documento se centra en mostrar el desarrollo del submodelo del comportamiento de los planificadores urbanos, que tiene como finalidad la asignación de nuevo suelo urbanizable y constituye una parte importante del modelo general. Consideramos que los planificadores urbanos ejercen una influencia sobre el territorio

que de cierta forma induce y dirige la futura ocupación residencial, a través principalmente de nuevas propuestas de clasificación del suelo.

Se sabe que la planificación urbana es un instrumento potente definido en las normativas urbanísticas españolas para ordenar el territorio, y aunque sea generalmente una herramienta con enfoque de arriba hacia abajo (*top-down*), está evolucionando a procesos más participativos. Ya decía Giddens en 1984 (Giddens, 1984) que las regiones y lugares no sólo se ven como espacios a ser planificados o diseñados por una autoridad, sino también como un medio que influye y es influenciado por interacciones de diferentes actores, por lo que la consideración de estos procesos de planificación en un MBA pueden ser acertadas – y principalmente cuando se basa en la escala supramunicipal propuesta.

A nivel regional, la Comunidad de Madrid carece de planes de ordenación territorial, por lo que se echa de menos decisiones uniformes en cuanto a disposiciones territoriales (Valenzuela Rubio, 2011). No obstante, a nivel municipal la revisión de la planificación, y en concreto la asignación de nuevas áreas urbanizables, se genera a partir de una serie de criterios espaciales obedeciendo ciertas normativas urbanísticas (de protección, edificatorias, etc.). Esta asignación es normalmente generada a partir del análisis geográfico simple de capas espaciales con información territorial gestionadas en un SIG. Sin embargo el potencial de fundamentar este submodelo en un MBA reside en proporcionar una configuración flexible que permite que la importancia dada a cada capa sea modificable, posibilitando generar diferentes escenarios de simulación. El comportamiento de planificadores urbanos con diferentes perfiles puede ser simulado en función de los ajustes realizados en la configuración inicial en cuanto a las preferencias espaciales sobre dónde asignar nuevas áreas urbanizables.

El área de estudio (Figura 2), al estar muy próxima al municipio de Madrid sufre de forma clara su influencia, constituyéndose en un corredor industrial y residencial importante hacia Guadalajara, cuyo eje central está compuesto por los municipios de Coslada, San Fernando de Henares, Torrejón de Ardoz y Alcalá de Henares. Otros 14 municipios también son considerados para la aplicación del modelo, ya que en conjunto presentan una intensa y muy relacionada dinámica urbana. Por ello se considera un área de potencial interés para proceder a un análisis de la expansión urbana y simulación de su crecimiento, y teniendo en cuenta, además, que la mayoría de los municipios no poseen planificación urbana actualizada, por lo que puede constituir una herramienta muy útil de soporte a la planificación territorial.

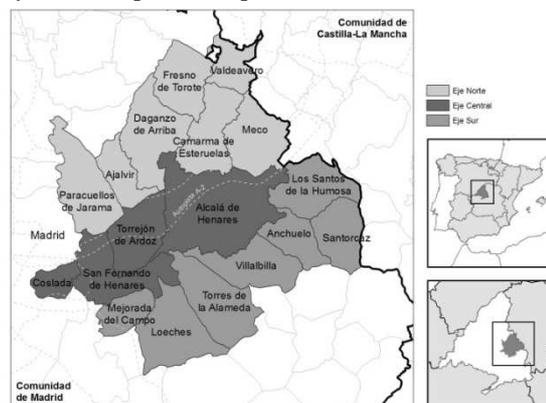


Fig. 2. Delimitación del Corredor del Henares, con sus ejes central, norte y sur.

2. Submodelo de asignación de nuevo suelo urbanizable

En el submodelo dedicado a simular el comportamiento de los planificadores urbanos en cuanto a la asignación de nuevas áreas urbanizables, la toma de decisión podría diferenciarse según la orientación política o directrices urbanísticas, por ejemplo, sobre todo si consideramos el nivel municipal, pudiéndose presentar en cada municipio un comportamiento distinto. No obstante, en el planteamiento que se presenta, asumimos que los planificadores urbanos presentan un único comportamiento, y por lo tanto también serán representados por un único tipo y reglas de decisión para toda el área de estudio (en un contexto de planificación subregional o supramunicipal).

La descripción lógica de este submodelo, así como la presentación de su interfaz gráfica, facilitarán una mejor comprensión de la estructura y el funcionamiento del comportamiento a simular.

2.1. Lógica del modelo

Entre los elementos que podrían influir en el comportamiento de los planificadores urbanos, presentamos una selección de aquellos más significativos, considerando su disponibilidad y las escalas más adecuadas. Las variables se encuentran listadas en la Tabla 1, así como su forma de incorporación al modelo.

Tabla 1. Listado de variables a considerar por el planificador urbano para la asignación de áreas urbanizables.

VARIABLES	METADATOS	FORMA DE INCORPORACIÓN AL MODELO
Clasificación del suelo	Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la CM (2003, 2006)	A través de la clasificación de suelos urbanos, urbanizables u otros, para delimitar el área de actuación del agente
Pendientes	Generado a partir del Modelo Digital del Terreno (CNTIG)	Como área de restricción al no poder asignar como urbanizables áreas con más de 10% de pendiente
Hidrografía	Base Cartográfica Nacional BCN200 (CNIG)	Como área de restricción al no poder asignar como urbanizables áreas a menos de 100m de los ríos
Espacios protegidos	Servicio de Información Ambiental de la CM (2011)	Como área de restricción al no poder asignar como urbanizables áreas como los Espacios Naturales Protegidos
Productividad agrícola	Reclasificación de datos de Usos del Suelo del Proyecto CORINE Land Cover (CNIG, 2006)	Como área de preferencia de asignación como urbanizables aquellas áreas menos productivas
Equipamientos no deseables	Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid (NOMEALLES)	Como área de preferencia al asignar como de interés aquellas más alejadas a estos equipamientos
Infraestructuras de carreteras	Adaptación de varias bases de datos (Servicio de Cartografía Regional de la CM y CNIG)	Como área de preferencia al asignar como de interés aquellas más próximas a las carreteras
Equipamientos de salud y educación	Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid (NOMEALLES)	Como área de preferencia al asignar como de interés aquellas más próximas a ciertos equipamientos de salud y educación
Áreas urbanas consolidadas	Calculado a partir de información de la Clasificación del Suelo	Como área de preferencia al asignar como de interés aquellas más próximas a las áreas urbanas ya consolidadas

Para dar paso a la elaboración informática y gráfica de este submodelo, se desarrolló un diagrama esquemático en función de la acción que el agente realiza en cada fase. En una primera etapa es esencial definir la disponibilidad y distribución espacial de la superficie para su actuación (A), y en la siguiente, definir algunos criterios de interés espacial (B), tal como se detalla en la figura 3.

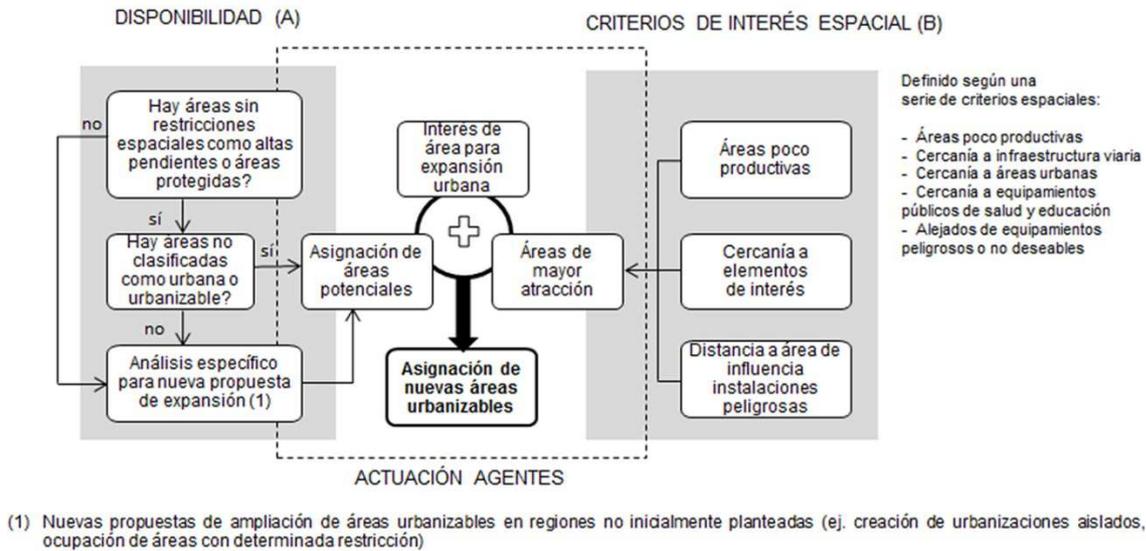


Fig. 3. Modelo conceptual de decisión del agente planificador urbano

Respecto a la disponibilidad de superficie para la actuación del planificador urbano, damos por supuesto que no es ilimitada, ya que no se puede asignar nuevas áreas como urbanizables en áreas de protección (Espacios Naturales Protegidos o riberas de ríos, por ejemplo), si ya es urbana consolidada, o si está en áreas con alta pendiente (superior al 10%), lo que en su caso la haría, en un principio, no apta para la urbanización. Partiendo de esta suposición, el primer paso es considerar una capa de restricción uniendo estos parámetros y limitando el área disponible.

La siguiente etapa consiste en definir un orden de preferencias en función de intereses según algunos criterios específicos, conforme se ve en la figura 3. Para que este modelo se pueda aplicar como un apoyo real a la planificación, estos parámetros se pueden variar conforme desee el usuario de acuerdo con un perfil específico, o quizás incluso conforme algún contexto sociopolítico. Esta asignación de pesos y porcentajes proporciona una flexibilidad al modelo, pues el usuario puede asignar diferentes niveles de importancia a cada una de las variables disponibles, y simular el resultado con diferentes escenarios de expansión de áreas urbanizables.

Otra dato de entrada fundamental del modelo es la cantidad de nuevas áreas urbanizables que se desea asignar en la simulación. La definición cuantitativa podría depender de varios factores, como la propia demanda de población o de los promotores inmobiliarios. En otros casos son inducidas por decisiones políticas y de intereses específicos en cuanto al desarrollo urbano en un determinado momento de apoyo a políticas más sociales, económicas o ambientales. En el presente caso, la dimensión del cambio dependerá del

propio usuario, que define este valor de expansión en la propia interfaz del programa para simular diferentes escenarios de expansión.

2.2. Interfaz gráfica

La interfaz de este submodelo consiste en tres bloques (figura 4). El primero consiste en la configuración inicial del sistema, que carga las capas de entrada y las representa espacialmente. El segundo bloque consiste en herramientas de interacción con el usuario a través de parámetros externos para la concreción de escenarios, que es donde se calibran los diferentes pesos a cada variable, así como donde se define la extensión de las nuevas áreas urbanizables que se pretenden localizar. El último es el bloque de las salidas y resultados, donde, posteriormente a la ejecución del modelo, se presenta espacialmente la asignación final.

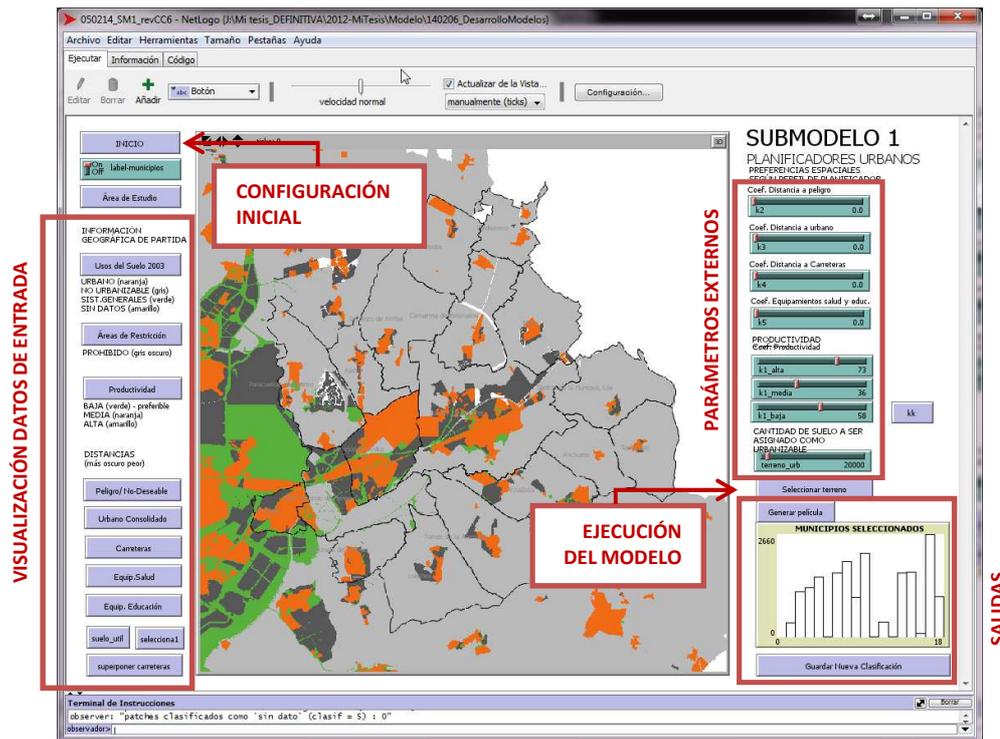


Fig. 4. Interfaz gráfica del submodelo de asignación de nuevas áreas urbanizables y sus herramientas de control

Los resultados pueden expresarse de diferentes formas en este submodelo:

- A través de la distribución espacial en el panel de visualización en la propia interfaz;
- Como gráfico de barras permitiendo una comparación visual de las nuevas superficies de áreas urbanizables en cada municipio, también en la interfaz del submodelo;
- En un archivo exportado en formato tabular que indica cada municipio con su respectivo código (para permitir posterior integración a un Sistema de Información Geográfica), contando también con la superficie total del municipio, la nueva superficie de suelo urbanizable y el porcentaje de ésta respecto al total;

- En un video exportado que muestra la distribución gradual de las nuevas superficies urbanizables representada dinámicamente en función de la ocupación de los espacios disponibles y las preferencias definidas en la configuración inicial.

Este submodelo fue desarrollado en la plataforma *NetLogo*, versión 5.0.3 (Wilensky, 1999) por disponer de una interfaz intuitiva y sencilla, y que a la vez permite la obtención de resultados muy visuales de los cambios producidos entre la situación inicial y la simulada. Además, otra ventaja importante es que el *NetLogo*, en sus últimas versiones, permite intercambio directo con datos geográficos en formato SIG, a través de extensión específica.

3. Resultados y conclusiones

Como ejemplo de su funcionamiento, simulamos un escenario aleatorio para un planificador de perfil más ambiental/conservador, y por ello con alto nivel de protección de áreas de elevada producción agrícola, y con especial atención a áreas cercanas a equipamientos no deseables (peligrosos o molestos), así como a la proximidad a áreas urbanas ya consolidadas (optimización de recursos). Suponiendo una demanda de nuevo suelo urbanizable de 30km², se ejecutó el modelo y se llegó a la siguiente distribución espacial (figura 5).

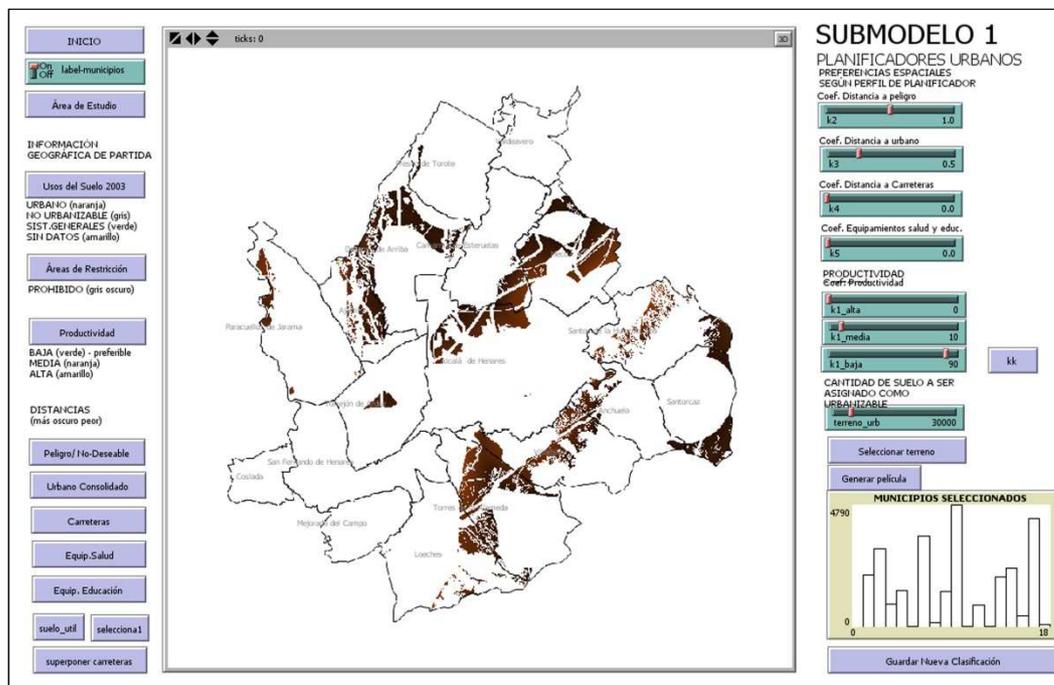


Fig. 5. Ejemplo de simulación de asignación de nuevas áreas urbanizables.

Los resultados de este ensayo son relativamente esperados, con propuesta para asignación de áreas urbanizables principalmente junto a las ciudades existentes, y de forma compacta, más sostenible. Los productos de salida (gráficos y tabla) muestran los porcentajes de estas áreas para cada municipio, presentando mayor porcentaje de conversión en áreas menos productivas y con menos restricciones (como es

el caso de Meco, Ajalvir y Torres de la Alameda con 34%, 26% y 24% de su superficie, respectivamente). Los resultados y comparaciones entre diferentes simulaciones no es el enfoque de este trabajo y por ello no se presentará en detalle, aunque pronto se espera publicarlo.

Aunque el potencial de un MBA reside en la posibilidad de considerar y atribuir diferentes comportamientos a los agentes que participan en la toma de decisiones (plasmados a través de un cambio espacial), este modelo en concreto no lo hace. En este caso, los agentes son entes con un perfil específico que toman una decisión espacial a partir de cruces de información geográfica y estadística, por lo que se podría concluir que su decisión es prácticamente determinística. Sin embargo, para que esté debidamente integrado y ejecutado el modelo final, es fundamental que este proceso decisorio esté planteado en el marco de un MBA, y que sea luego fácilmente ensamblado con los demás submodelos.

En este caso, el potencial del submodelo presentado en esta investigación reside principalmente en los escenarios que se puedan crear a partir de los datos disponibles. Con diferentes variaciones en los parámetros de entrada del sistema, se pueden generar simulaciones futuras muy interesantes, y que a su vez pueden servir de herramienta de apoyo a los planificadores urbanos en materia de ordenación territorial y desarrollo urbanístico. Hasta el momento, se desconoce el uso de MBA para apoyo a los planificadores urbanos, por lo que la presente propuesta se considera un avance en este sentido.

Por otro lado, otro resultado importante presentado en este documento es la estructuración del submodelo en sí mismo. Su desarrollo programático; la elección de las capas adecuadas para representar el comportamiento de los planificadores urbanos a escala supramunicipal; el procesamiento de los datos disponibles para calibración de la configuración de entrada, fueron los principales desafíos en la elaboración de este submodelo. En este sentido, consideramos que el programa es capaz de generar escenarios de simulación según diferentes comportamientos de planificadores urbanos.

Agradecimientos

Proyecto SIMURBAN2: Instrumentos de Geosimulación y planificación ambiental en la ordenación territorial de ámbitos metropolitanos. Aplicación a escalas intermedias (Ref.: CSO2012-38158-C02-01).

Referencias

- Cantergiani, C. C. (2011). Modelos basados en agentes aplicados a estudios urbanos: una aproximación teórica. *Serie Geográfica*, 17, 29-43. Disponible en: http://geogra.uah.es/revista/pdfrevista17/OK-02-articulo_Carol_Cantergiani_pags_29_a_44.pdf
- Railsback, S. F., & Grimm, V. (2009). *A Course in Individual-based and Agent-based Modeling*: Princeton University Press.
- Grimm, V., & Railsback, S. F. (2005). *Individual-based modeling and ecology*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Sanders, L., Pumain, D., Mathian, H., Gherin-Pace, F., & Bura, S. (1997). SIMPOP: a multi-agents system for the study of urbanism. *Environment and Planning B*, 24, 287-305.
- Barros, J. (2004). *Urban Growth in Latin American Cities. Exploring urban dynamics through agent-based simulation*. Doctor of Philosophy, Bartlett School of Graduate Studies, Bartlett School of Architecture and Planning, University College London, University of London, London. Retrieved from http://www.dpi.inpe.br/cursos/environmental_modelling/joana_phd_thesis.pdf
- Benenson, I., & Torrens, P. M. (2004). *Geosimulation: Automata-based modeling of urban phenomena*: John Wiley & Sons, L.
- Fontaine, C. M., & Rounsevell, M. D. A. (2009). An agent-based approach to model future residential pressure on a regional landscape. *Landscape Ecology*, 24(9), 1237-1254.
- Giddens, A. (1984). *The Constitution of Society: Outline of the Theory of Structuration*. Cambridge: Polity Press.
- Gilbert, N. (2008). *Agent-Based Models*. Sage Publications.

- Proyecto SIMURBAN: Análisis y simulación prospectiva mediante TIG del crecimiento urbano actual. Evaluación de sus sostenibilidad (2013). Proyecto de investigación del Departamento de Geografía, Geología y Medio Ambiente de la Universidad de Alcalá. Página web: www.geogra.uah.es/simurban/
- Valenzuela Rubio, M. (2010). La planificación territorial de la Región Metropolitana de Madrid. Una asignatura pendiente. Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada, 47 (2).
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.