

VI CIOT
CONGRESO INTERNACIONAL DE
ORDENACIÓN DEL TERRITORIO
pamplona 2010

27, 28 y 29 de octubre de 2010

2012 CONTIGO
AVANZAMOS

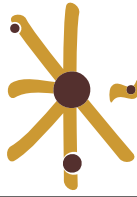


1975-2010
fundicot 35
ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO AÑOS

Caminando hacia un compromiso
por el Territorio

Relatoría, Ponencias y Comunicaciones





VI CIOT
CONGRESO INTERNACIONAL DE
ORDENACIÓN DEL TERRITORIO
pamplona 2010

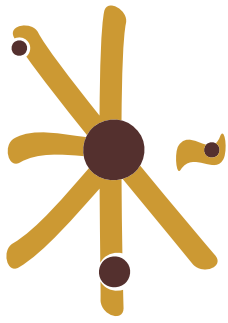


VI CIOT

Caminando hacia un compromiso por el territorio

PAMPLONA

27, 28 Y 29 DE OCTUBRE DE 2010



VI CIOT
CONGRESO INTERNACIONAL DE
ORDENACIÓN DEL TERRITORIO
pamplona 2010

2012 CONTIGO
AVANZAMOS



1975-2010
fundicot 35
ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO
AÑOS

VI CIOT

Caminando hacia un compromiso por el territorio

Nota del editor:

Las ponencias recogidas en esta obra reflejan fielmente el contenido de los trabajos enviados por sus autores. Esta fidelidad se refiere tanto al desarrollo de los trabajos como a sus elementos complementarios.

Los autores son los únicos responsables de los contenidos de las ponencias.

Edita:

Asociación Interprofesional de Ordenación del Territorio FUNDICOT

Diseño de la edición: *Raoul Servet*





- PRESIDENTE

- *D. Antonio Serrano Rodríguez.*

- SECRETARIO

- *D. Pere Sala.*

- VOCALES

- *D. Angel Aparicio Mourelo.*
- *D. Aldert de Vries.*
- *D. Jesús María Erquicia Olaciregui.*
- *D. Laureano Lázaro Araujo.*
- *D. Fernando Prats Palazuelo.*
- *D. Miguel Angel Troitiño Vinuesa.*

- GOBIERNO DE NAVARRA

- *D. Jesús Javier Ascunce (Presidente de la Comisión Organizadora)*
- *D. José Antonio Marcén*
- *D. Javier Roncalés*

- FUNDICOT

- *D. Antonio Serrano (Vicepresidente de la Comisión Organizadora)*
- *D. Pablo Fidalgo (Secretario de la Comisión Organizadora)*
- *D. Raoul Servet*

- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

- *Dña. Margarita Ortega*

- MINISTERIO DE VIVIENDA

- *D. José Luis Nicolás*

- GENERALITAT DE CATALUNYA

- *D. José Antonio Báguena*

- EUSKO JAURLARITZA / GOBIERNO VASCO

- *D. Alfonso Sanz*

- GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

- *D. Guillermo Morales*

ÍNDICE de Relatoría, Ponencias y Comunicaciones

1. Experiencias y buen gobierno en materia de Ordenación del Territorio. Nuevos retos en un horizonte de crisis.
 - Resumen del área
 - Aportaciones destacadas por el comité científico
 - Ponencias
 - Comunicaciones

2. Ciudades y cambio global; hacia un nuevo paradigma territorial.
 - Resumen del área
 - Aportaciones destacadas por el comité científico
 - Ponencias
 - Comunicaciones

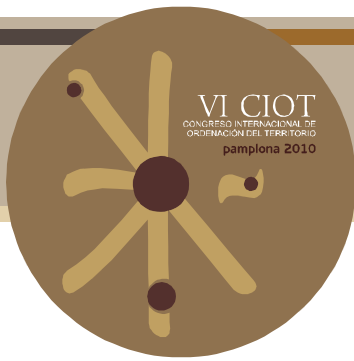
3. Turismo interior y costero e incidencia de la segunda residencia en el desarrollo territorial. La necesidad de adaptar sectores básicos de nuestra economía.
 - Resumen del área
 - Aportaciones destacadas por el comité científico
 - Ponencias
 - Comunicaciones

4. Desarrollo Rural y Reservas de la Biosfera. La esperanza de nuevos horizontes.
 - Resumen del área
 - Aportaciones destacadas por el comité científico
 - Ponencias
 - Comunicaciones

5. Paisaje y patrimonio territorial. Valores a desarrollar y conservar.
 - Resumen del área
 - Aportaciones destacadas por el comité científico
 - Ponencias
 - Comunicaciones

6. Infraestructuras y territorio. La necesidad de cambios por la eficacia y eficiencia en el capital productivo territorial.
 - Resumen del área
 - Aportaciones destacadas por el comité científico
 - Ponencias
 - Comunicaciones

INDICE



ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE AUTÓMATAS CELULARES PARA LA SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO DE PEQUEÑOS NÚCLEOS URBANOS DE GALICIA (NO DE ESPAÑA)

Andrés Manuel García Lamparte, Inés Santé Riveira, Marcos Boullón Magán, Rafael Crecedente Maseda, David Miranda Barros.*

**(Ingeniero de Montes, Investigador del proyecto SIMULA)*

Dirección: Laboratorio del Territorio, Escuela Politécnica Superior, Campus Universitario S/N. 27002, Lugo

Correo-e: andresmanuel.garcia@usc.es

Tlf.: +34.982.25.22.31 ext. 23292

RESUMEN:

Los modelos de crecimiento urbano basados en autómatas celulares han constituido una buena herramienta para el estudio de las dinámicas de crecimiento urbano a lo largo de los 20 últimos años. La clave del éxito de los autómatas celulares es su sencillez y la capacidad de reproducir dinámicas complejas a escala global, a partir de reglas sencillas a escala local. Existen numerosos ejemplos de modelos destinados a simular la expansión de grandes ciudades, pero poco se ha hecho con respecto a pequeñas áreas urbanas. En los pequeños núcleos de población, el crecimiento es más escaso y las dinámicas que lo regulan son más lentas, por lo que tardan mucho tiempo en definirse y son difíciles de identificar. En el presente artículo se ha realizado un estudio comparativo de algunos de los autómatas celulares urbanos más difundidos, evaluando su capacidad para reproducir las dinámicas de crecimiento de Ribadeo, una pequeña villa en el noroeste de España. Los resultados muestran las fortalezas y debilidades de cada uno de los modelos analizados, que sirven de base para proponer las consideraciones a tener en cuenta a la hora de implementar nuevos modelos adaptados a las particularidades de los pequeños núcleos de población.

NOVEDADES Y APORTACIONES DEL ARTÍCULO AL CONOCIMIENTO:

El artículo realiza una revisión del trabajo hecho hasta el presente en modelización urbana con autómatas celulares, con vistas a identificar los pros y contras de las principales herramientas implementadas. De este modo se establecen consideraciones a tener en cuenta a la hora de mejorar los modelos existentes para que permitan ganar un mayor conocimiento de los procesos de expansión urbana simulados en ellos.

1 Introducción

Los modelos de crecimiento urbano son herramientas que permiten realizar análisis y extrapolaciones de las dinámicas de crecimiento de las ciudades, facilitando la labor de los investigadores que las estudian y de los planificadores que intentan regularlas. Dentro de los modelos de crecimiento urbano destacan los autómatas celulares (AC) por ser herramientas capaces de reproducir dinámicas espaciales y temporales complejas a escala global mediante reglas a escala local. Estas reglas actúan en la vecindad de las celdas de una cuadrícula que representa el espacio donde tienen lugar los procesos a simular. Las reglas actúan en etapas de tiempo discretas y determinan, en cada iteración del modelo,

el estado de las celdas de la cuadrícula en base al estado de las celdas de sus respectivas vecindades.

Santé et al. (2010) presentan una revisión de los principales AC urbanos, donde se identifica el modelo de White et al. (1997) como el primer AC urbano aplicado a casos reales que ha tenido gran repercusión. Posteriormente se han desarrollado modelos como SLEUTH (Clarke et al., 1997) o el de Wu (2002), que han alcanzado gran relevancia por su difusión y porque han servido de base para el diseño de modelos similares.

La gran mayoría de estos modelos urbanos fueron diseñados para la simulación del crecimiento de grandes urbes. En el presente trabajo se analiza la capacidad de algunos de los AC urbanos más difundidos para reproducir los patrones de crecimiento de pequeños núcleos, en concreto, de la villa de Ribadeo, situada en Galicia (NO de España). Ribadeo es un pequeño núcleo urbano típico de Galicia, ya que sirve como eje organizador de la actividad económica y centro de suministro de servicios de su área de influencia, por lo que se encuentra en un rango funcional intermedio entre las grandes áreas urbanas y las zonas rurales gallegas (Rodríguez, 1997).

Para realizar este análisis se seleccionaron tres modelos de la familia de modelos de R. White y G. Engelen, SLEUTH y el modelo de Wu (2002), debido a que son los modelos más frecuentemente aplicados a las simulaciones reales y a que sirvieron de base para desarrollar muchos otros modelos. El artículo comienza exponiendo las bases teóricas de estos modelos, continúa con la descripción del área de estudio y de la metodología, para pasar al análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones con los diferentes modelos. Finalmente, se presentan las conclusiones, en las que se analiza la capacidad de los diferentes modelos para simular el crecimiento urbano de pequeñas villas como Ribadeo.

2 Modelos analizados

2.1 Familia de modelos de R. White y G. Engelen

2.1.1 Modelo de White et al. (1997)

Los modelos de White y Engelen introducen una vecindad extendida para considerar la influencia de las celdas vecinas localizadas a cierta distancia, introduciendo un efecto de disminución con la distancia. El modelo de White et al. (1997) distingue dos tipos de clase de uso del suelo: usos fijos, que influyen en las dinámicas de las otras clases pero no participan en ellas, y usos activos, que participan en las dinámicas e influyen en ellas. La regla de transición de este modelo se basa en el cálculo del potencial de transición de cada celda a cada uso del suelo según la ecuación 1:

$$(ec. 1) \quad {}^t P_{hz} = {}^t Rand \times S_z \times A_z \times (1 + {}^t N_z)^n + {}^t H_z$$

donde ${}^tP_{hz}$ es el potencial de transición del estado h al estado z , S_z es la aptitud para el uso z (toma valores entre 0 y 1), A_z es la accesibilidad a vías de transporte (ecuación 3), tN_z es el efecto de la vecindad (ecuación 4) y H_z es el factor de inercia, que es igual a 0 si z es distinto de h y aumenta de valor si $z = h$. $Rand$ es una variable aleatoria que se determina mediante la ecuación 2:

$$(ec. 2) \quad Rand = 1 + (-\ln \gamma)^\alpha$$

Donde γ es un número aleatorio entre 0 y 1 y α es un coeficiente para escalar el grado de aleatoriedad introducido en el modelo. La accesibilidad se determina mediante la ecuación 3:

$$(ec. 3) \quad A_z = \left(1 + \frac{D_j}{\delta_{zj}} \right)^{-1}$$

Donde D_j es la distancia a la vía j y δ_{zj} el coeficiente que determina la influencia de la distancia a la vía j en el potencial del uso z . El efecto de la vecindad se calcula con la ecuación 4:

$$(ec. 4) \quad N_z = \sum_{k,i,d} w_{kd} I_{id}$$

Donde w_{kd} es el coeficiente aplicado a las celdas del estado k que se encuentran a una distancia d de la celda central, y I_{id} es un coeficiente que toma el valor 1 si la celda i tiene el estado k y 0 en caso contrario.

Una vez calculados los potenciales de transición, cada celda transiciona al estado para el que tiene mayor potencial.

2.1.2 Modelo de Engelen et al. (1999)

Engelen et al. (1999) modificaron el modelo anterior, de modo que no considera los parámetros de inercia y accesibilidad, siendo este último incluido como una variable más dentro de la aptitud, e incluye como nuevo factor la zonificación del planeamiento urbanístico, tZ_z (ecuación 5):

$$(ec. 5) \quad {}^tP_{hz} = {}^tRand \times (S_z)^s \times ({}^tZ_z)^p \times ({}^tN_z)^n$$

El factor tZ_z puede tomar los valores 0, 1, 2 y 3 en función de si un uso está permitido (0), temporalmente prohibido (1 y 2) o permanentemente prohibido (3). Los parámetros s , p , n expresan la importancia de cada elemento en el potencial de cambio; en el modelo se utilizan como interruptores binarios y toman los valores 0 o 1. Este modelo sólo permite transiciones de celdas no urbanas a celdas urbanas, por lo que no considera ningún mecanismo como el factor de

inercia del modelo de White et al. (1997) para tener en cuenta la resistencia de algunos usos a cambiar.

2.1.3 MOLAND

Dentro del proyecto MOLAND (Lavalle et al., 2004) se desarrolló una variante del modelo de White et al. que considera tres tipos de usos: usos fijos, que influyen en las dinámicas de las otras clases pero no cambian de estado, usos pasivos, que influyen en las dinámicas de las otras clases y cambian de estado pero no se ven condicionadas por la demanda de tierra externa al modelo, y usos activos, que participan en las dinámicas, cambian de estado y se ven influenciadas por la demanda de tierra externa. El potencial de transición se calcula según la ecuación 6:

$$(ec. 6) \quad {}^tP_{hz} = {}^tRand \times (1+S_z) \times (1+A_z) \times (1+{}^tZ_z) \times ({}^tN_z)$$

En MOLAND no existen variables de inercia ni restricciones a cambios de un uso a otro. Para tener en cuenta la resistencia al cambio de algunos usos se aumenta el valor de w_{kd} para la celda central cuando $k = d$.

2.2 SLEUTH

SLEUTH reproduce los patrones de crecimiento urbano de una ciudad, simulando cuatro tipos de crecimiento que están controlados por cinco factores. El “spontaneous new growth” simula el crecimiento de baja densidad que se produce aleatoriamente en celdas aisladas. Está controlado por el factor “slope resistance”, que determina la máxima pendiente en la que se puede construir. El “diffusive growth” modela la emergencia de núcleos nuevos que se están urbanizando. Lo controla el coeficiente “breed coefficient”. El “organic growth” surge a partir de grupos de celdas recientemente urbanizadas, intentando simular la expansión del borde de centros urbanos nuevos y existentes. Está controlado por el coeficiente “spread”. El “road influenced growth” simula la influencia de la red de transporte en los patrones de crecimiento, generando centros de expansión adyacentes a las carreteras. Está controlado por el coeficiente “road gravity”.

SLEUTH es automodificante, es decir, las reglas de transición no son fijas, si no que los coeficientes que controlan el crecimiento varían en función de la tasa de crecimiento. Por ejemplo, si la densidad urbana aumenta a lo largo de la simulación el coeficiente de resistencia de la pendiente puede aumentar permitiendo construir en zonas más empinadas. SLEUTH tiene un método de calibrado propio que consta de cuatro pasos. En cada paso se generan simulaciones aleatorias y se escogen aquellas que dan mejores resultados.

2.3 El modelo de Wu (2002)

El modelo de Wu (2002) sólo considera dos usos, urbano y no urbano. El potencial de transición (tP) se calcula a partir de una probabilidad de transición (P) determinada mediante una regresión logística a partir de un determinado número de variables. Esta probabilidad de transición se escala con la probabilidad de que la celda sea urbana en función del número de celdas urbanas (n) presentes en las ocho celdas vecinas (ecuación 7):

$$(ec.7) \quad {}^tP = \frac{P * n}{8}$$

Como se puede apreciar en la ecuación 7, no existe una variable que introduzca aleatoriedad en el modelo. Esto se debe a que la aleatoriedad se introduce a la hora de seleccionar las celdas que transicionarán a urbanas mediante el método Monte Carlo. Para ello, se genera un número aleatorio para cada celda que se compara con su potencial de transición. Si el potencial es mayor que el número aleatorio, la celda transiciona, si no, no lo hace.

En cada iteración del modelo se recalculan los potenciales de transición, por lo que el máximo potencial de transición cambia. **Esto hace variar el número de celdas que transicionan en cada iteración.** Para evitarlo, se recalcula una probabilidad de conversión utilizando funciones de decaimiento con la distancia exponenciales, comprando su valor con la probabilidad de la mejor localización (ecuación 8):

$$(ec. 8) \quad {}^tP' = {}^tP * \exp \left[-\delta * \left(1 - \frac{{}^tP}{\max({}^tP)} \right) \right]$$

donde δ es un parámetro de dispersión que controla la forma de la función de decaimiento, de manera que cuanto mayor sea δ , mayor será el gradiente de la función de decaimiento, **garantizándose así una mayor discriminación entre los valores del potencial de transición y evitándose que se seleccionen celdas con valores bajos.** Por lo tanto δ controla el grado de aleatoriedad introducido en el modelo.

Para ajustar el número de transiciones simuladas al número que se espera que se produzca en cada iteración, ${}^tP'$ debe ser escalado de nuevo mediante la ecuación 9:

$$(ec. 9) \quad {}^tP'' = \frac{{}^tP'}{\sum {}^tP'} * N$$

Donde N es el número de transiciones esperadas en cada iteración, que se obtiene de forma externa al modelo.

3 Caso de estudio

3.1 Área de estudio

Ribadeo es una pequeña villa de 6000 habitantes, situada en la costa nordeste de Galicia (figura 1). La villa constituye un centro administrativo, comercial y de servicios, pues en ella confluyen la carretera que vertebra la costa norte de la península ibérica con la carretera que comunica la capital de la provincia con la vecina región de Asturias. Por ello, Ribadeo es un ejemplo representativo de las villas cabecera de comarca típicas de Galicia (Rodríguez, 1997).

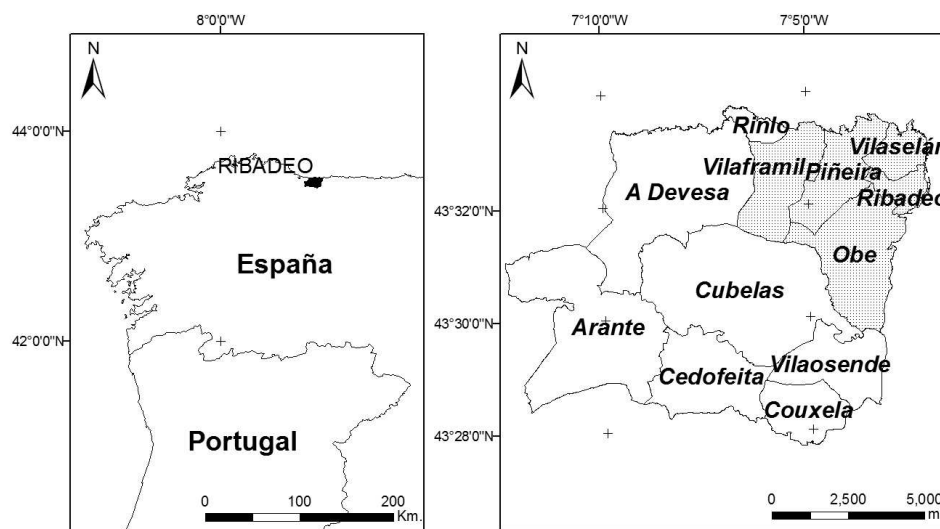


Figura 1 Plano de situación de Ribadeo

3.2 Metodología

La zona considerada en el presente estudio abarca el núcleo de Ribadeo y las cuatro parroquias vecinas de Vilaselán, Piñeira, Vilaframil y Obe. Los datos empleados en las simulaciones se obtuvieron mediante fotointerpretaciones de fotos aéreas de los años 1978, 1995, 2003 y 2007, apoyándose en un mapa de usos del suelo de 1995 y en los datos de la Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos Locales de los años 2000 y 2005. A partir de estos datos se elaboraron mapas raster de carreteras y usos del suelo de los años 1978, 1995, 2003 y 2007 con una resolución de celda de 35 x 35 m. También se produjeron mapas de pendientes y de sombreado con la misma resolución a partir de un

modelo digital del terreno. El software utilizado para procesar esta información fue ArcGis 9.2 e Idrisi Andes.

Los mapas de usos del suelo se clasificaron en las siguientes categorías: usos agrícolas, masas de agua, usos comerciales (grandes superficies comerciales, hoteles, cámpings, lonjas y mercados), carreteras, zonas excluidas (cementeros, iglesias y zonas rocosas), usos forestales, usos industriales (naves industriales y instalaciones portuarias de carácter industrial), usos institucionales (colegios, centros socioculturales, asistenciales, edificios administrativos, instalaciones deportivas públicas...), parques (jardines públicos, zonas verdes y áreas recreativas), usos residenciales y vías de ferrocarril.

La calibración de los modelos se realizó a partir de los mapas de uso del suelo de 1978 y 1995, excepto en SLEUTH, en el que es necesario emplear mapas de tres años diferentes, por lo que se incluyó el mapa de 2003. Los parámetros calibrados se emplearon para hacer la simulación entre 1995 y 2007.

El modelo SLEUTH se aplicó con el software disponible en www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/, mientras que el resto de los modelos fueron programados en Visual Basic.

En los modelos de White et al., Engelen et al. y MOLAND se consideraron como usos fijos; las masas de agua, las carreteras, las vías de tren, los usos institucionales y los parques. Las zonas excluidas no se tuvieron en cuenta en las simulaciones. En el modelo de MOLAND se consideraron como usos pasivos los agrícolas y forestales. En los modelos de White et al. y Engelen et al. los usos agrícolas y forestales se consideraron como suelo vacante para ser ocupado por los usos urbanos. En SLEUTH, para cumplir con los requerimientos de los datos de entrada, se agruparon los usos comercial, industrial, institucional, parques y residencial en un solo uso urbano, los usos excluido y vías de tren se utilizaron como máscara y el resto de usos no se modificó. Se hizo la misma agrupación de usos urbanos para el modelo de Wu, en el que se consideraron no urbanos los usos agrícola y forestal, mientras que el resto de usos no se consideraron en la simulación.

La superficie total de crecimiento urbano a simular en cada iteración se calculó dividiendo la cantidad de crecimiento que se produjo para cada uso en las fechas consideradas entre el número de años transcurridos, excepto en SLEUTH. En SLEUTH la superficie total de crecimiento urbano se controla calibrando cuatro parámetros. Los valores de estos parámetros fueron calibrados de forma empírica hasta obtener un crecimiento similar al real.

La probabilidad inicial de transición a urbano en el modelo de Wu se calcula mediante una regresión logística. En esta regresión se utilizaron las variables;

distancia a la costa, distancia al centro de Ribadeo, pendiente y distancia a carreteras. Estas variables fueron identificadas como los principales condicionantes del crecimiento urbano de la villa en estudios previos (García et al., 2009). Con el fin de que los datos de entrada de los diferentes modelos fuesen similares, se utilizaron las mismas variables de entrada y una regresión logística para calcular las aptitudes para cada uso del suelo en el modelo de Engelen et al. Estas mismas variables fueron empleadas en los modelos de White et al. y MOLAND para calcular las aptitudes, con excepción de la variable distancia a carreteras, ya que esta se tiene en cuenta en el factor accesibilidad de estos modelos .

Los coeficientes δ_{zj} para el cálculo de la accesibilidad en los modelos de White et al. y MOLAND fueron estimados en base al conocimiento experto . Para ser más fieles a los modelos originales, en MOLAND se tuvieron en cuenta tres tipos de vías (principales, secundarias y terciarias), mientras que en White et al. sólo se consideró uno.

Los pesos w_{kd} , empleados en el cálculo del efecto de la vecindad, fueron los mismos que los utilizados por White et al. (1997), ya que, según estos autores, los valores de estos coeficientes suelen ser parecidos para todas las ciudades. En MOLAND, para dificultar la transición de los usos urbanos, se aumentaron los coeficientes w_{kd} de la celda central de la vecindad cuando el uso presente en esta coincidía con el uso para el que se estaba calculando el efecto de la vecindad.

Finalmente se calibró el coeficiente α que controla el grado de aleatoriedad en la familia de modelos de White et al. (tabla 3) utilizando los datos de los años 1978 y 1995. Con este fin se hicieron varias simulaciones, utilizando valores de α comprendidos entre 0 y 10.

3.3 Análisis de los resultados

3.3.1 Comparación visual y matrices de confusión.

En primer lugar se compararon los resultados de forma visual, así como a través de matrices de confusión y del índice kappa. Los índice kappa más altos (figuras 3 y 4) corresponden a los modelos de la familia de White et al., entre los que destaca MOLAND con el valor más alto. No obstante, un valor alto de kappa no tiene por qué ser indicativo de que los patrones simulados sean similares a los reales. Por este motivo se procede a analizar de forma visual los resultados de los modelos.

Como se puede apreciar en la figura 3, la coincidencia celda a celda entre el mapa real y el simulado por MOLAND es baja. No obstante, localizar correctamente el crecimiento es muy difícil dada la “path dependency” e

incertidumbre introducida por la estocasticidad (Brown, 2005). Teniendo esto en cuenta, la apariencia visual de la simulación es bastante buena, pues las celdas urbanas simuladas se encuentran muy próximas a las reales, no obstante se subestimó el crecimiento producido en el sur de Ribadeo. En el modelo de Engelen et al. (figura 3) el crecimiento se localiza principalmente en el centro de Ribadeo y se subestima bastante el producido a lo largo de la carretera nacional y al sur de Ribadeo. El modelo de White et al. (figura 3) generó unos patrones de crecimiento que siguen la línea de las carreteras existentes. Al no distinguirse diferentes tipos de carreteras en las variables de entrada, se observa que las celdas urbanas se distribuyen de una manera más o menos uniforme a lo largo de las mismas, generándose crecimiento en zonas donde no lo hubo, como se puede apreciar en la zona costera al norte de Ribadeo. El crecimiento urbano se concentra principalmente en el núcleo de Ribadeo y sus inmediaciones, así como en las proximidades del aeródromo situado en el noroeste de la zona de estudio, por lo que se subestima el crecimiento producido a lo largo de la carretera nacional y al sur de la misma.

El análisis de los errores encontrados en las simulaciones de los modelos de la familia de White y Engelen reveló las dificultades de simular el crecimiento urbano en núcleos pequeños, ya que en estos núcleos el crecimiento es escaso y son necesarios períodos de tiempo muy prolongados para que aparezcan patrones de crecimiento claramente identificables, que se puedan asociar a unas determinadas dinámicas. Esto se puede apreciar claramente en la evolución del uso comercial en el núcleo estudiado. En el período de calibrado el crecimiento es disperso y escaso a lo largo de la carretera principal, no apareciendo todavía la tendencia, observada en años posteriores, de concentración del uso comercial a la entrada de la villa de Ribadeo, en la confluencia de la carretera principal con la carretera que circunvala Ribadeo por el norte y da acceso al puente que comunica Ribadeo con la vecina región de Asturias.

Además, este escaso crecimiento obliga a trabajar con una gran resolución espacial para poder representar los patrones urbanos, lo que se traduce en una mayor dificultad para alcanzar una simulación precisa.

Las simulaciones hechas con SLEUTH (figura 4) subestiman el crecimiento producido al sur de Ribadeo. Además se puede apreciar algunos errores ocasionados por no diferenciar varios usos urbanos. P. ej., en el límite occidental del mapa se simuló mal el crecimiento producido alrededor de dos grandes manchas urbanas existentes, ya que estas manchas no corresponden a núcleos urbanos, si no a una vivienda unifamiliar rodeada por un gran jardín en uno de los casos y a una gran nave industrial con una zona de almacenaje en el otro. Esta limitación de SLEUTH ya fue identificada por Berling-Wolff y Wu (2004). Otros errores producidos por SLEUTH son más difíciles de explicar, ya que este modelo

se basa en reproducir patrones espaciales, pero no permite explicar las dinámicas que los generan.

El modelo de Wu (figura 4) subestimó el crecimiento producido a lo largo de la carretera de la costa y sobreestimó algo el producido al sur de Ribadeo. El hecho de no simular bien el crecimiento a lo largo de la carretera principal se debe a no considerar varios tipos de carreteras en el cálculo del factor aptitud. En este modelo el principal problema es la incorrecta simulación del crecimiento disperso, por lo demás, los patrones producidos son bastante próximos a los reales.

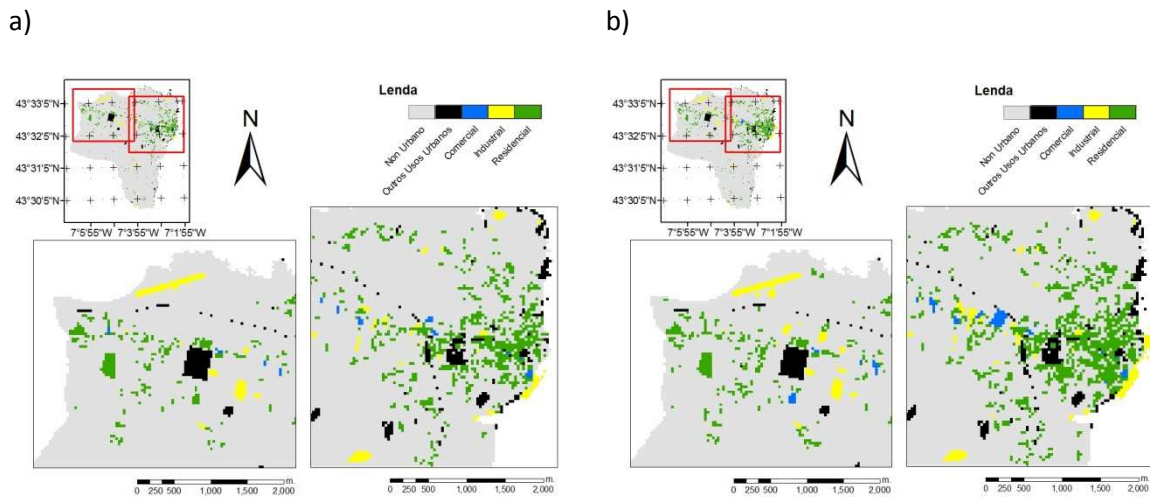
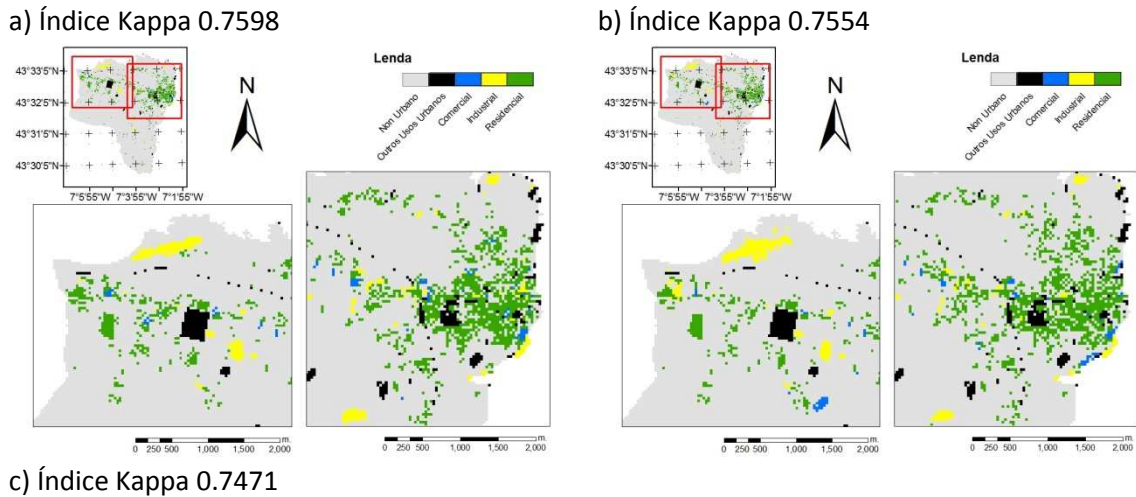


Figura 2. Mapas reales de usos del suelo en los años a) 1995 y b) 2007.



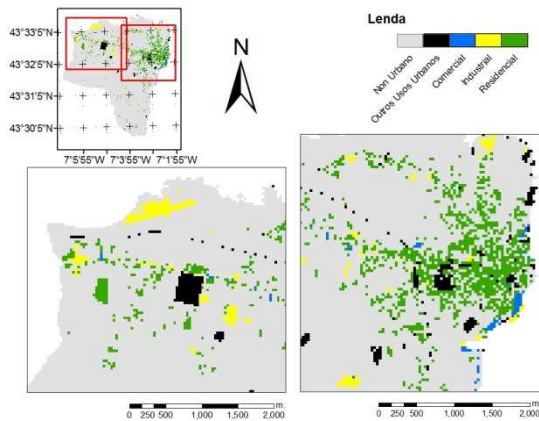


Figura 3. Mapas simulados por a) MOLAND, b) Engelen et al. y c) White et al.
a) Índice Kappa 0.7447 b) Índice Kappa 0.7443

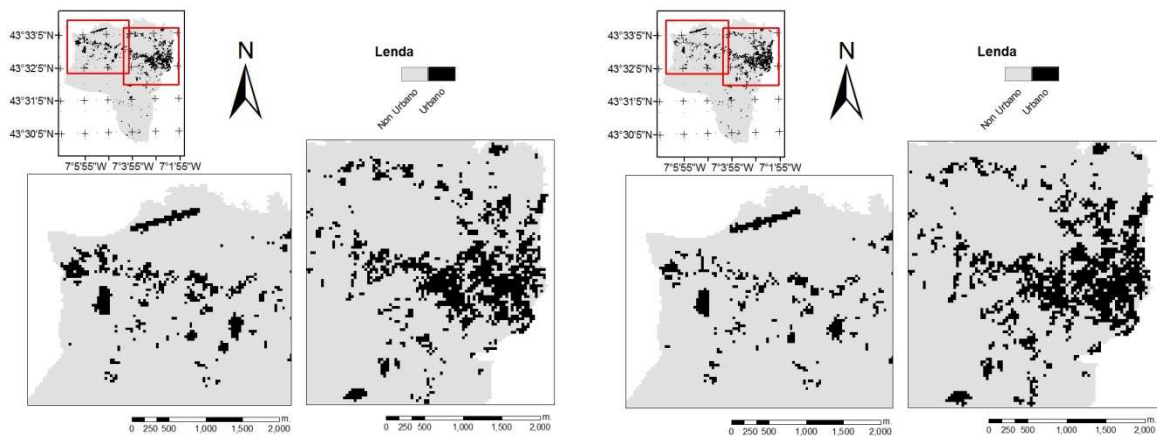


Figura 4. Mapas simulados por a) SLEUTH y b) Wu.

3.3.2 Métricas espaciales

Para evaluar el grado de ajuste entre el patrón espacial urbano simulado y el real se utilizaron las métricas espaciales descritas a continuación, que miden la dispersión y complejidad de las manchas de cada uso del suelo:

- CA: superficie total de cada clase de uso del suelo medida en hectáreas.
- NP: número de manchas de cada clase de uso del suelo
- AREA_MN: superficie media de las manchas de una determinada clase de uso del suelo medida en hectáreas.
- FRAC_AM: índice fractal medio ponderado con el área que indica el grado de complejidad de las manchas, el valor se aproxima a 1 cuando la mancha tiene un perímetro simple y a 2 cuando es más complejo. Al estar ponderado con el área, los índices de las manchas más grandes tendrán más peso a la hora de calcular el área.

- ENN_AM: distancia euclídea media ponderada con el área (se mide en metros) que indica la proximidad entre las manchas de una determinada clase. Al estar ponderado con el área, tendrán más peso las distancias de las manchas grande a sus vecinas a la hora de calcular la media.

Para poder comparar los resultados de todos los modelos fue necesario agrupar las clases residencial, comercial e industrial con las de institucional y parques en una sola clase urbana sobre la que se calcularon las métricas espaciales (tabla 1).

Tabla 1 Métricas espaciales de la clase urbana del año 2007, simuladas y reales.

CLASES	CA	NP	AREA_MN	FRAC_AM	ENN_AM
Urbano Engelen	247.33	233	1.06	1.20	86.13
Urbano White	247.33	221	1.12	1.21	92.7
Urbano MOLAND	247.33	214	1.16	1.21	83.64
Urbano SLEUTH	247.33	179	1.37	1.19	102.27
Urbano Wu	250.76	155	1.62	1.21	100.68
Urbano Real	242.18	230	1.05	1.18	89.12

Observando la tabla 1 puede apreciarse que, en líneas generales, el patrón espacial del uso urbano producido por el modelo de Engelen et al. es el que más se aproxima a la realidad. Los modelos de White et al. y MOLAND también producen mejores resultados que los de Wu y SLEUTH. Los tres modelos presentan valores bastante próximos a los reales en las métricas espaciales.

El modelo de Wu es el que presenta el menor número de manchas. Las manchas producidas son mucho más grandes que en el resto de modelos y están mucho más agrupadas. Esto se debe a que en el modelo de Wu las celdas sin celdas urbanas en la vecindad tienen una probabilidad de transición igual a cero. Por este motivo no puede generar las pequeñas manchas de crecimiento nuevo.

SLEUTH tampoco llega a simular un crecimiento igual al real debido a las complicaciones derivadas de estar controlado este parámetro por cuatro índices. En comparación con los modelos de White et al., el número de manchas generado por SLEUTH es mucho más bajo y éstas son más grandes y más agrupadas. Sin embargo, SLEUTH produce más manchas y más pequeñas que el modelo de Wu, debido a que, la diferencia del modelo de Wu, sí es capaz de simular crecimiento nuevo espontáneo.

3.3.3 Análisis de los tipos de crecimiento

El tipo de crecimiento (crecimiento de relleno, de borde y nuevo) generado por cada modelo se analizó mediante el índice propuesto por Xu et al. (2007), que se calcula como la longitud de los bordes comunes entre las manchas de crecimiento

nuevo y antiguo dividida entre el perímetro total de las manchas de crecimiento nuevo. Si este índice es mayor de 0.5 se considera que la mancha es de crecimiento de relleno, si alcanza un valor inferior o igual a 0.5 y mayor de cero se considera que la mancha es de crecimiento del borde y si es igual a cero se considera que es crecimiento nuevo. Los tipos de crecimiento simulados por cada modelo se compararon con los tipos de crecimiento reales (tabla 2).

Tabla 2 Tipos de crecimiento simulados por cada modelo y tipos de crecimiento reales.

Modelo	Número de celdas				Tanto por ciento		
	Nuevo	Borde	Relleno	Total	Nuevo	Borde	Relleno
Engelen et al.	170	339	32	541	31.1	62.6	5.8
White et al.	150	347	44	541	27.7	64.3	8.4
Moland	123	350	68	541	22.7	64.7	12.6
Sleuth	56	345	140	541	10.4	63.8	25.8
Wu	57	361	150	568	10.0	63.6	26.4
Real	163	317	69	549	29.7	57.7	12.6

Los modelos que simularon mejor los diferentes tipos de crecimiento fueron los de White et al., mientras que el modelo de Wu y SLEUTH subestimaron demasiado el crecimiento nuevo y sobreestimaron el crecimiento de relleno.

El modelo de Wu y SLEUTH producen mucho menos crecimiento nuevo que el real y que los otros modelos y mucho más crecimientos de relleno, mientras que los valores de crecimiento del borde son similares a los de los otros tres modelos y ligeramente superiores a los reales. Estos datos confirman las dificultades del modelo de Wu para simular crecimiento nuevo. En el caso de SLEUTH, a pesar de que tiene la capacidad de generar crecimiento espontáneo, presenta unos tipos de crecimiento muy similares al modelo de Wu. La baja cantidad de crecimiento nuevo simulado por SLEUTH puede ser debida a un óptimo local. Este problema puede reducirse empleando alguna técnica de optimización para la calibración que permita explorar de una manera más exhaustiva el espectro de posibles soluciones. Por ejemplo, Goldstein (2003) empleó algoritmos genéticos para calibrar el modelo, obteniendo mejores resultados que con la calibración empírica.

4 Conclusiones

Los resultados muestran que la mayor dificultad para la simulación de pequeños núcleos urbanos se deriva de la necesidad de una mayor resolución. Además, las dinámicas del crecimiento urbano en pequeños núcleos evolucionan más lentamente, de manera que transcurre más tiempo hasta que se forman patrones bien definidos que permitan identificarlas. De estas dificultades se deriva la

necesidad de modelos capaces de simular dinámicas complejas, en las que puedan intervenir un elevado número de factores, y de una calibración precisa. Atendiendo a estas necesidades, pueden extraerse las siguientes conclusiones.

En general, las mejores simulaciones fueron las obtenidas mediante la familia de modelos de White y Engelen, los cuales produjeron los mejores valores del índice kappa, de las métricas espaciales y de los tipos de crecimiento urbano. Los peores resultados en los tres métodos de evaluación empleados correspondieron al modelo de Wu, mientras que con SEUTH se obtuvieron resultados intermedios, algo mejores pero muy próximos a los del modelo de Wu.

Un inconveniente común al modelo de Wu y SLEUTH es que consideran un único uso urbano global. Por otro lado, los modelos de White y Engelen, al considerar varios usos urbanos, permiten un análisis más complejo de las dinámicas que generan los patrones de crecimiento. La consideración de las interacciones entre múltiples usos del suelo evita generalizaciones e incrementa la flexibilidad del modelo para la simulación de diferentes fenómenos. Otro inconveniente del modelo de Wu es la dificultad para simular crecimiento espontáneo, debido a que las celdas sin celdas urbanas en la vecindad tienen una probabilidad de transición igual a cero.

Por otro lado, la mayor complejidad de los modelos de White y Engelen se traduce en una mayor complejidad de la calibración debida al elevado número de parámetros implicados en este tipo de modelos. Los autores de estos modelos determinan el valor de los coeficientes basándose en el conocimiento experto. Esta técnica funciona a la hora de simular el crecimiento de grandes ciudades, analizado a escalas globales, donde son relativamente fáciles de identificar los patrones y dinámicas del crecimiento urbano. En el caso de núcleos urbanos pequeños, el crecimiento es escaso y lento, por lo que es más difícil identificar dinámicas y patrones urbanos bien definidos. Por este motivo son necesarios métodos de calibración más exactos que los empíricos, basados en técnicas de optimización, que permitan adaptar de manera precisa el modelo a las dinámicas características de estos pequeños núcleos.

BIBLIOGRAFÍA

BERLING-WOLFF, S., WU, J. (2004) "Modeling urban landscape dynamics: A case study in Phoenix, USA". *Urban Ecosystems*, 7(3), pp. 215-240.

BROWN, D. G., PAGE, S., RIOLO, R., ZELLNER, M., RAND, W., (2005) "Path dependence and the validation of agent-based spatial models of land use". *International Journal of Geographical Information Science*, 19, pp. 153-174.

CLARKE, K.C., HOPPEN, S., GAYDOS, L.J. (1997) "A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area". *Environment and Planning B-Planning & Design*, 24(2), pp. 247-261.

ENGELEN, G., GEERTMAN, S., SMITS, P., WESSELS, C. (1999): *Dynamic GIS and Strategic Physical Planning Support: a practical application to the IJmond/Zuid-Kennemerland region*, J. Stillwell, Geertman, S., and S. Openshaw, eds., Geographical Information and Planning, Berlin, Springer-Verlag, pp. 87-111.

GARCÍA, A.M., SANTE, I., CRECENTE, R. (2009): *Analysis of the factors that condition urban growth patterns in small towns*, 2nd WSEAS Congress on Urban Planning and Transportation, Rhodes (Greece).

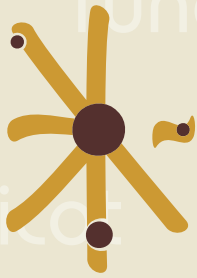
LAVALLE, C., BARREDO, J. I., McCORMICK, N., ENGELEN, G., WHITE, R., ULJEE, I. (2004): *The MOLAND Model for Urban and Regional Growth Forecast. A Tool for the Definition of Sustainable Development Paths*, Technical Report EUR 21480/EN, Italy, Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre, European Commission.

RODRÍGUEZ, R. (1997) "Villa y comarca funcional en Galicia" *Investigaciones Geográficas*, 18, pp. 115-130.

SANTÉ, I., GARCÍA, A.M., MIRANDA, D., CRECENTE, R. (2010) "Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis". *Landscape and Urban Planning*, 96, pp. 108-122.

WHITE, R., ENGELEN, G., ULJEE, I., (1997) "The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics". *Environment and Planning B-Planning & Design*, 24(3), pp. 323-343.

WU, F. (2002) "Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions". *International Journal of Geographical Information Science*, 16(8), pp.795-818. XU, C., LIU, M.S., ZHANG, C., AN, S.Q., Yu, W., Chen, J.M. (2007) "The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China". *Landscape Ecology*, 22, pp. 925-937.



CONGRESO INTERNACIONAL DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

pamplona 2010

VI CIOT

ORGANIZAN

2012 CONTIGO AVANZAMOS



1975-2010 fundicot 35 AÑOS
ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



PATROCINAN



COLABORAN



FACULTAD DE LETRAS LETREN FAKULTATEA



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea
DPTO. DE GEOGRAFÍA, PREHISTORIA Y ARQUEOLOGÍA GEOGRAFÍA HISTORAUERRA ETA ARKEOLOGIA SALA

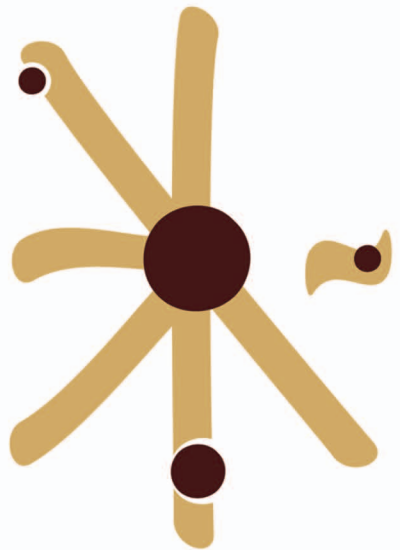


COLEGIO DE GEÓGRAFOS



Oficina de Naciones Unidas de apoyo al Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015





VI CIOT

CONGRESO INTERNACIONAL DE
ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

pamplona 2010

27, 28 y 29 de octubre de 2010

2012 CONTIGO
AVANZAMOS



**Gobierno
de Navarra**

1975-2010
fundicot 35
ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO
AÑOS