

Simulación del crecimiento urbano en Galicia mediante modelos de autómatas celulares: aplicación en el núcleo de Ribadeo

Laboratorio do Territorio GI-1934-TB

Programa de doctorado de Ingeniería para el Desarrollo Rural.

Universidad de Santiago de Compostela, IBADER, Departamento de Ingeniería Agroforestal

Autor: Andrés Manuel García Lamparte.

Directores: Inés Santé Riveira.
Rafael Crecente Maseda.

Estructura de la presentación

INTRODUCCIÓN

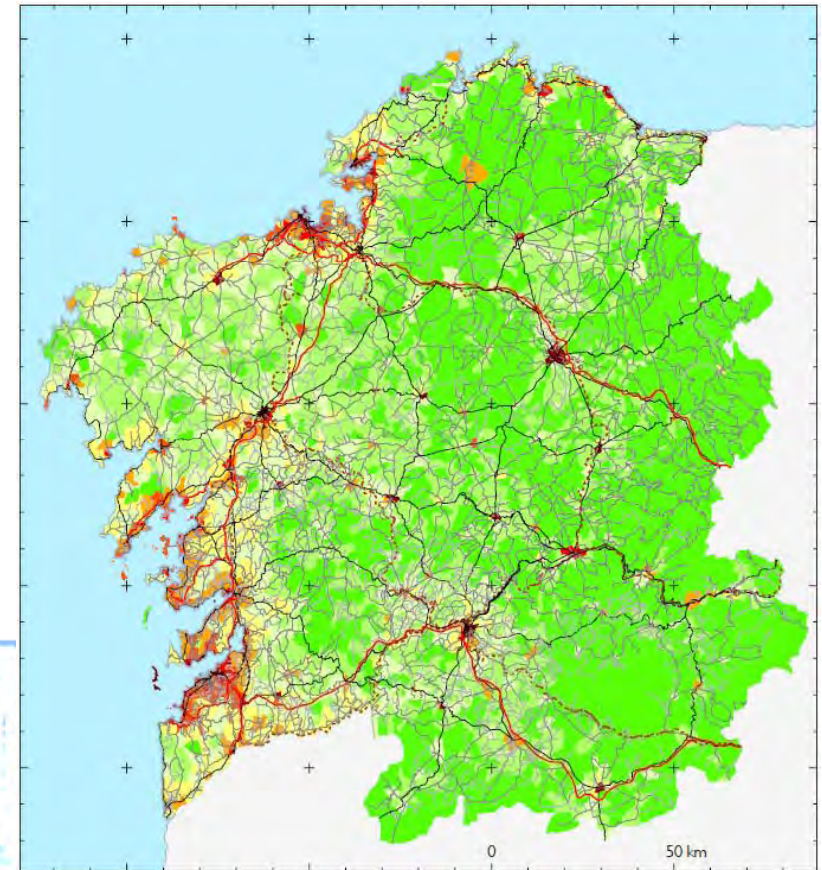
- Antecedentes.
- Objetivos.
- Materiales.
- Métodos.

CAPÍTULOS

- CAPÍTULO I
- CAPÍTULO II
- CAPÍTULO III
- CAPÍTULO IV
- CAPÍTULO V
- CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- En los **últimos 40 años**, Galicia ha experimentado la **etapa de mayor crecimiento** urbano de su historia.
- Crecimiento **disperso**, poco estructurado, **concentrado** en la **costa atlántica** que genera una serie de **problemas**.
- Surge la necesidad de implementar **herramientas** que ayuden a la planificación como los modelos de **autómatas celulares urbanos**.



- **Años 40, Joh von Newman** desarrolla los **autómatas celulares** basándose en las ideas de **Stanislaw Ulam**.
- **Conway (1970), “The Game of Life”** primer autómata celular práctico.
- **Tobler (1979)** Primero en proponer los AC para el **modelado de procesos geográficos**.
- **Wolfram (1984)** demuestra que los **AC son capaces de reproducir dinámicas complejas** a escala global a partir de interacciones a escala local.
- **Couclelis (1985)** sienta las **bases teóricas** para la implementación de los **AC urbanos**.



Newman



Ulam



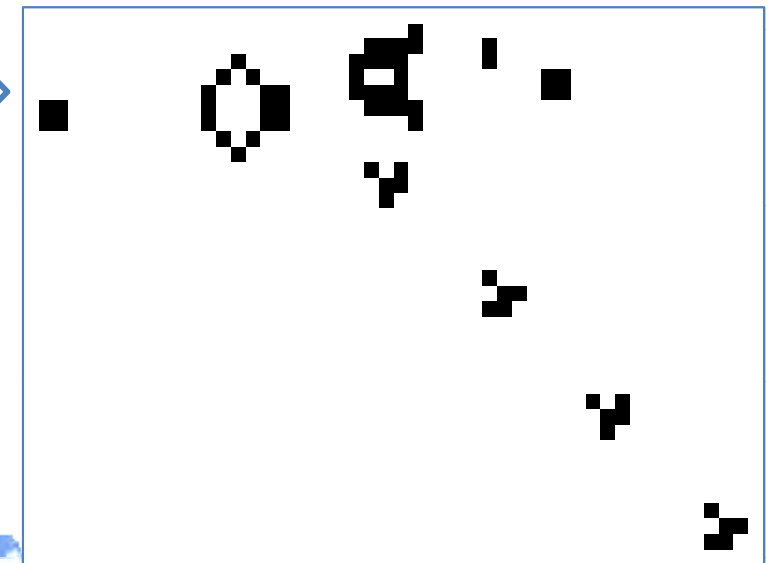
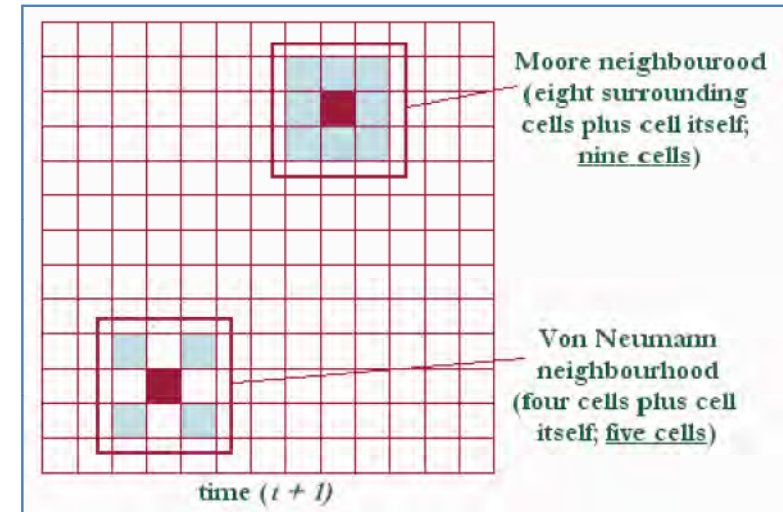
Wolfram



Couclelis

Autómatas celulares:

- ❑ Espacio representado en una **cuadrícula**.
- ❑ Definición del **estado** de las celdas de la cuadrícula.
- ❑ Definición de una **vecindad**.
- ❑ Definición de una serie de **reglas de transición** del estado de cada celda en base al estado de las celdas presentes en la vecindad.
- ❑ Actualización del estado de las celdas sincrónico en **pasos de tiempo discretos**.



AC buenas herramientas de análisis del crecimiento urbano:

- Reproducen de manera sencilla **dinámicas complejas** emergentes, a partir de **reglas simples** a escala local.
- Al operar en una **cuadrícula** permiten la incorporación de **datos raster** generados con un SIG.
- Presentan **resultados** de una manera muy **visual**, fácil de interpretar.
- Son capaces de generar **geometrías fractales** similares a las de las ciudades.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Antecedentes

Objetivos

Materiales

Métodos

OBJETIVO PRINCIPAL

Implementar un **modelo de AC** adaptado a la simulación del crecimiento urbano en Galicia, susceptible de ser utilizado como **sistema de ayuda a la decisión**.

CAPÍTULO VI

OBJETIVOS SECUNDARIOS

1

Estudio de los modelos de AC urbanos desarrollados hasta el presente.

CAPÍTULO I

2

Conocer los **factores** que condicionan el **crecimiento urbano en Galicia**.

CAPÍTULO II
CAPÍTULO III

3

Conocer cómo condicionan los resultados, los **componentes de los modelos**.

CAPÍTULO IV

4

Analizar la **adaptabilidad de los modelos existentes** más importantes, a la simulación del crecimiento urbano en **Galicia**.

CAPÍTULO V

Datos

- Artículos de publicaciones varias.
- Fotos aéreas de los años **1978** y **1995**.
- Ortofotos SIXPAC de los años **2003** y **2007**.
- Datos de la EIEL de los años **2000** y **2005**.
- Mapa de **usos del suelo 1995** (Díaz 2005).
- Mapa **topográfico** E 1:25000 del IGN.
- Mapa de **parcelas** de catastro **1995**.

generar cartografía:

- Usos del suelo.
- Carreteras.
- MDT.
- Parcelas catastrales.

Variables y datos de entrada de los modelos

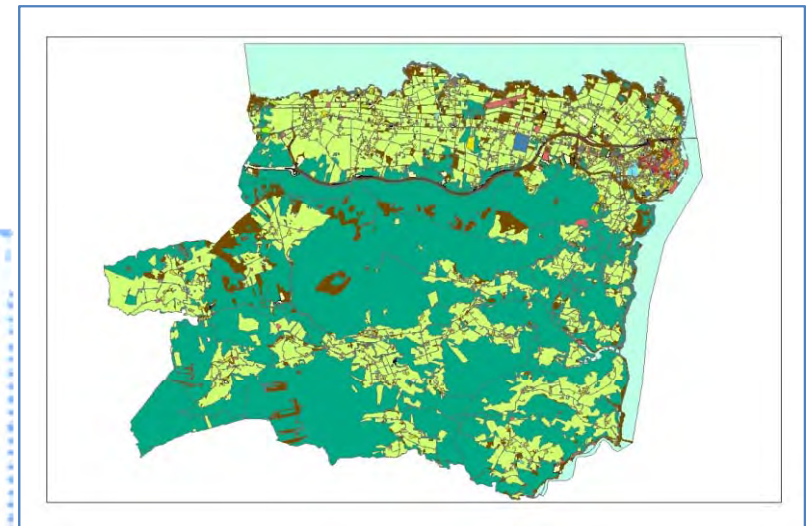
Software

- DIGI21 v.2005Ortorrectificación.
- ArcGis 9.2Fotointerpretación y procesado de datos vectoriales.
- Idrisi KilimanjaroProcesado de datos raster.
- R 2.6.0Procesado estadístico de datos.
- Fragstats e FragtaliseAnálisis de patrones espaciales.
- SLEUTH Prueba del modelo SLEUTH.
- Visual Basic.netImplementación modelos.

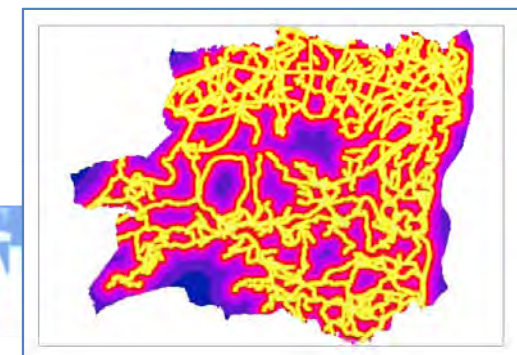
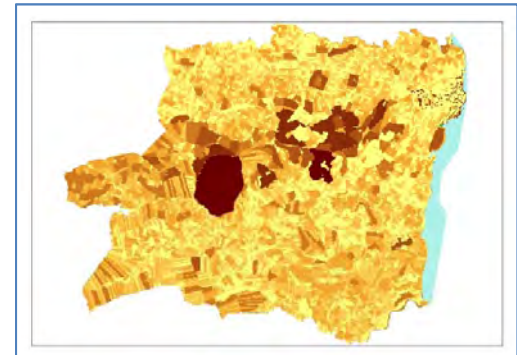
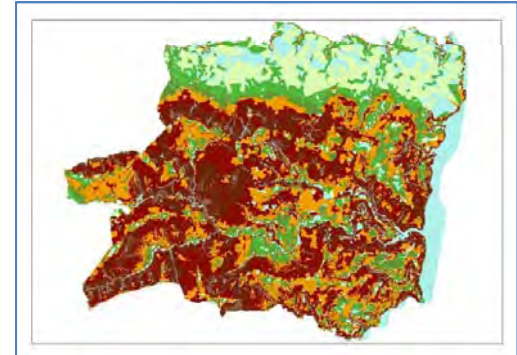
- Revisión bibliográfica.
- Obtención de información.
 - Ortorrectificación.
 - Fotointerpretación.



- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Agua • Yermo • Agrícola • Arbolado • Matorral • Comercial • Industrial • Residencial de baja densidad. | <ul style="list-style-type: none"> • Residencial de media densidad. • Residencial de alta densidad. • Institucional. • Parques y áreas recreativas. • Vías de comunicación |
|---|---|



- Obtención de información.
 - Edición de cartografía.
 - Obtención de mapas raster a varias resoluciones.
 - Cálculo de variables.
 - Distancias a vías de comunicación, distancias a usos urbanos, pendiente, área de parcelas, etc.
- Análisis de las dinámicas de crecimiento urbano.
 - Regresión logística.
 - Análisis cluster.
 - Métricas espaciales.
- Diseño de AC urbano adaptado a Galicia.
 - Calibración con algoritmos genéticos.
 - Validación.



Revisión de modelos de autómatas celulares orientados a la simulación del crecimiento urbano.

- Introducción.
- Metodología.
- Análisis de los modelos de AC urbanos.
- Debilidades y fortalezas de los modelos AC urbanos.
- Conclusiones.

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, 108-122

Santé, I., García, A. M., Miranda, D., Crecente, R. 2009. *Analysis of operational urban cellular automata models*. **2nd International Conference on Urban Planning and Transportation**

Introducción: *características modelos.*

- Relajaciones de los AC para la simulación urbana.
 - Espacio finito y no regular.
 - Espacio no uniforme.
 - Vecindad ampliada.
 - Vecindad no estacionaria.
 - Reglas de transición más complejas.
 - Reglas de transición no estacionarias.
 - Restricciones al crecimiento.
 - AC asíncronos o intervalos de tiempo no regulares.

Metodología.

- Análisis centrado en **Modelos operacionales**, aplicados a la simulación de ciudades reales.
- Se analizaron **33 modelos** que fueron **clasificados en tablas** en base a sus **características**.
- El análisis de estas características permitió identificar **debilidades y fortalezas** y extraer **conclusiones**.

Análisis de los modelos de AC urbanos

- **Reglas de transición** (Clasificación en cuanto a **tipo** de reglas).
 - Estrictamente **ortodoxas**.
 - Basadas en el cálculo de un **potencial de transición**.
 - Basadas en la forma y **geometría urbana** (reproducen patrones de crecimiento urbano).
 - Reglas que utilizan métodos de **inteligencia artificial**.
 - Reglas basadas en **lógica difusa**.
 - Reglas que no se pueden englobar en una metodología general.
- **Reglas de transición** (Clasificación en cuanto a **aleatoriedad**).
 - **Consideran** aleatoriedad.
 - **No consideran** aleatoriedad.

Análisis de los modelos de AC urbanos

- **Objetivo:** Modelos predictivos, descriptivos y prescriptivos.
- **Espacio celular:** cuadrado, hexagonal, parcelas.
- **Vecindad:** Moore, von Newman, extendida, circular, cuadrada.
- **Restricciones de crecimiento:** Extrapolación lineal, modelo integrado, cálculo de tasa dinámica, cálculo en base al planeamiento.
- **Integración con otros modelos.**
- **Calibración:** empírica, métodos estadísticos (regresión logística, algoritmos genéticos, *simulated annealing*, inteligencia artificial).
- **Validación:** Análisis visual, medidas de coincidencia celda a celda, medidas basadas en la coincidencia de patrones de crecimiento.

Debilidades y fortalezas de los modelos de AC urbanos.

- **Equilibrio entre realismo y conservación de las propiedades de los AC.**
- **Flexibilidad.**
- **Poder de explicación.**
- **Requerimiento de datos.**
- **Disponibilidad de software.**
- **Precisión de los resultados.**

Conclusiones.

- Los modelos de **AC urbanos** constituyen buenas herramientas de **simulación** y **análisis** de los procesos de crecimiento urbano, dada su capacidad de reproducir **dinámicas complejas** a partir de **reglas sencillas**.
- La **simplicidad** de los modelos de AC también es su mayor **debilidad** pues es necesario hacer **relajaciones** de las reglas formales para adaptarlos a la simulación del crecimiento urbano que repercuten en su **flexibilidad**.
- La falta de **software accesible** al usuario y la **complejidad de la calibración** de los modelos hacen que sean poco utilizados fuera del mundo académico.
- **Mejora** de los métodos de **calibración** y **validación** para producir modelos más fiables y accesibles al usuario final.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

Cap. IV

Cap. V

Cap. VI

Análisis de los factores que condicionan la evolución de los usos del suelo en los pequeños asentamientos urbanos de la costa norte de Galicia.

- Objetivos.
- Metodología.
- Resultados.
- Conclusiones.

García, A. M., Santé, I., Crecente, R. 2010. *Análisis de los factores que condicionan la evolución de los usos del suelo en los pequeños asentamientos urbanos de la costa norte de Galicia*. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles** 54, 57-79

García, A. M., Santé, I., Miranda, D., Crecente, R. 2009. *Analysis of factors influencing urban growth patterns on small towns*. **2nd International Conference on Urban Planning and Transportation**

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

Cap. IV

Cap. V

Cap. VI

Objetivo.

- Necesidad de **conocer las dinámicas urbanas** en pequeños núcleos urbanos gallegos, para crear **modelos adecuados** a su simulación.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

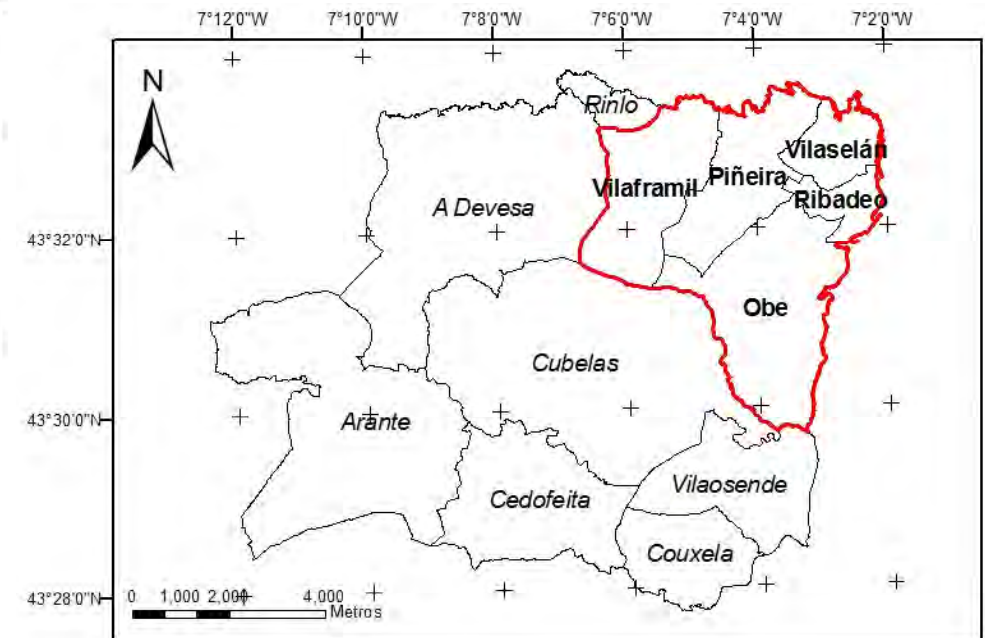
Cap. III

Cap. IV

Cap. V

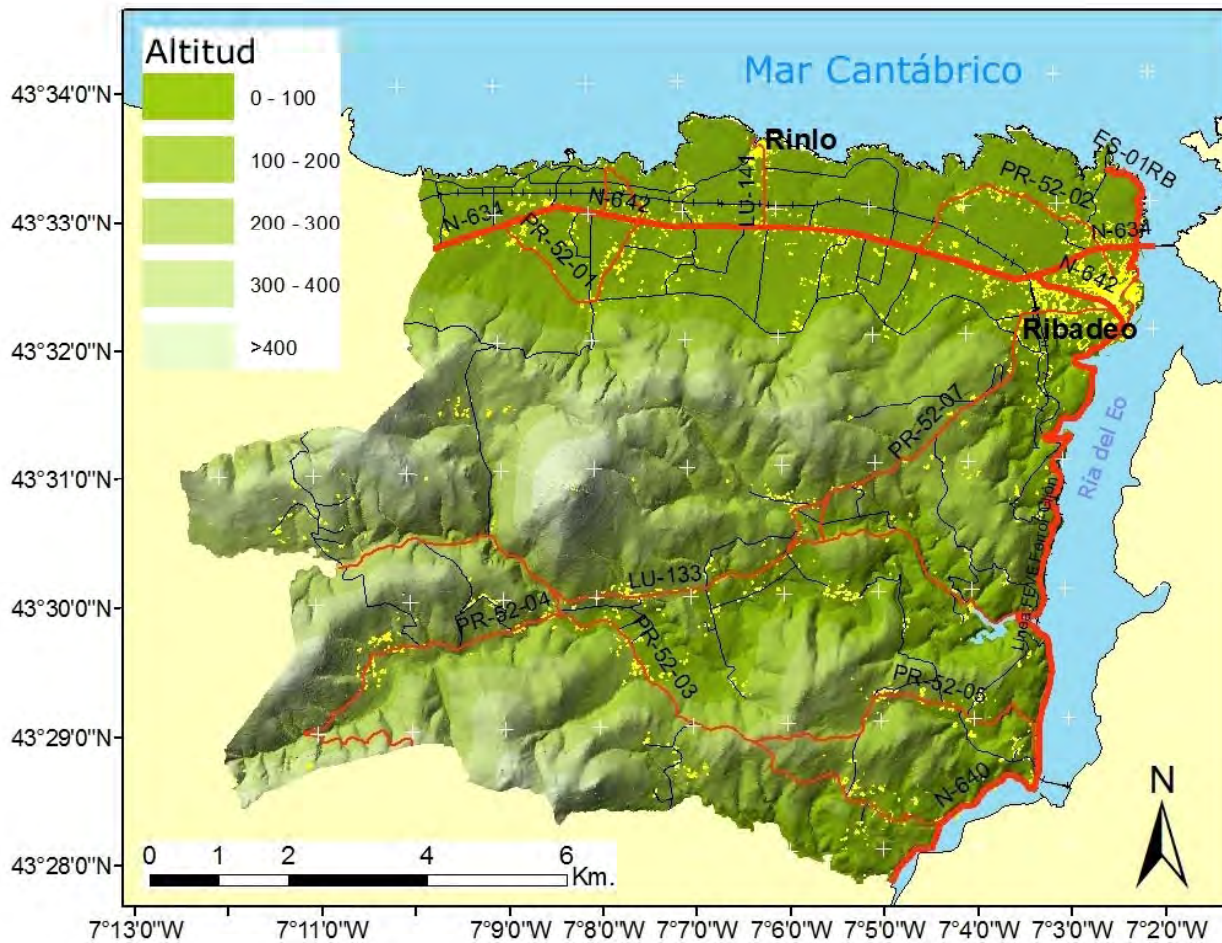
Cap. VI

Área de estudio.



Simulación del crecimiento urbano en Galicia mediante modelos de autómatas celulares: aplicación en el núcleo de Ribadeo


Área de estudio.



Ribadeo: Cabecera de comarca, aglutina comercio y servicios de las áreas circundantes.

Metodología.

1. Análisis de la evolución de los patrones de los usos del suelo mediante **métricas espaciales**.

- FRAGSTATS: Métricas espaciales
 - CA, NP, LPI, AREA_MN, FRAC_AM.
- FRACTALYZE: Dimensiones fractales.
 - Dim. fractal de superficie (D_s).
 - Dim. fractal de borde (D_b).
- Índice de Xu et al. (2007). 
 - Crecimiento nuevo.
 - Crecimiento de borde.
 - Crecimiento de relleno.



Metodología.

2. **Identificar** los factores que condicionan las **dinámicas** urbanas en el área de estudio.
 - Índice de **Spearman**: eliminar variables correlacionadas ($\rho > 0.6$ o $\rho < -0.6$).
 - **Regresión Logística**:
 - Identificar variables más significativas ($\text{Pr} > |z| > 0.001$).
 - Calcular contribución de estas variables a la probabilidad de cambio de uso del suelo.
3. Establecer una **relación** entre las **dinámicas** observadas y la evolución de los **patrones** de usos del suelo.

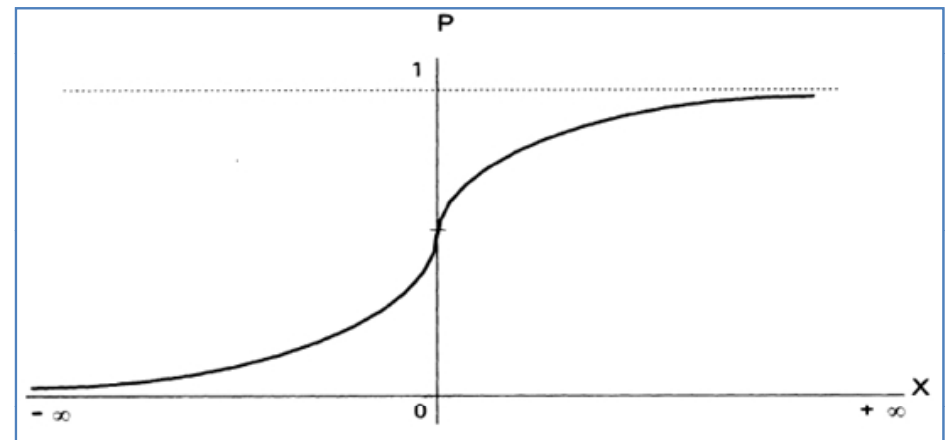
Metodología.

- **24 variables consideradas en el análisis de regresión logística.**
 - Cuencas visuales
 - Distancia a carreteras principales
 - Distancia a carreteras secundarias
 - Distancia a carreteras municipales
 - Distancia a carreteras de circunvalación
 - Distancia a vías de ferrocarril
 - Altitud
 - Pendiente
 - Distancia a la costa
 - Distancia al uso industrial
 - Distancia al uso comercial
 - Distancia al uso residencial
 - Distancia al uso institucional
 - Distancia a parques y zonas verdes
 - Distancia a núcleos de población
 - Distancia a masas arboladas
 - Distancia al centro de Ribadeo
 - Distancia al puerto de Ribadeo
 - Distancia a estaciones de tren
 - Parcelas adyacentes a vías de comunicación
 - Superficie de las parcelas catastrales
 - Índice de forma de las parcelas
 - Vecindad a zonas construidas

Metodología.

- Regresión logística.

$$P(y = 1 | X) = \frac{\exp(\sum BX)}{1 + \exp(\sum BX)}$$



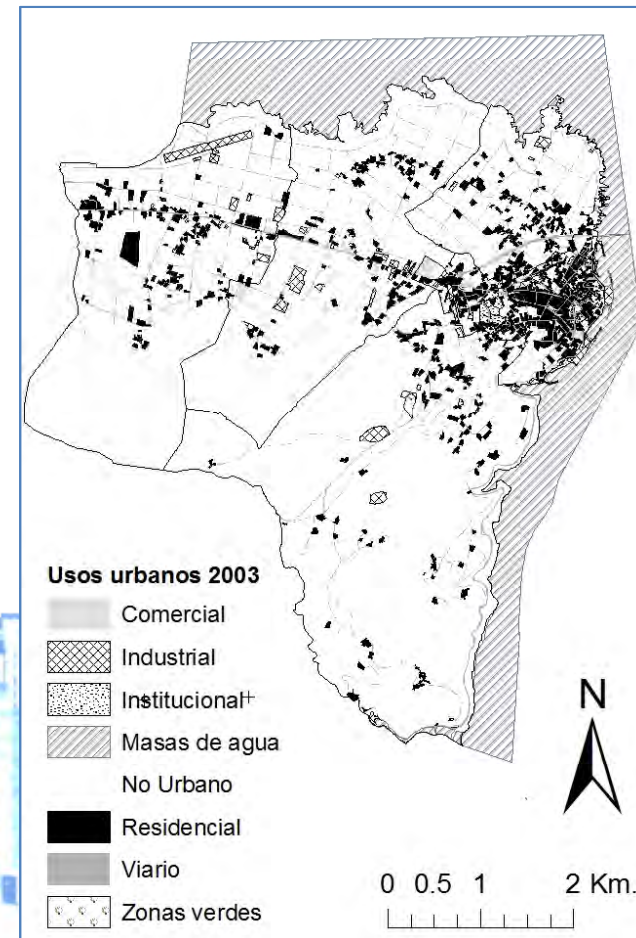
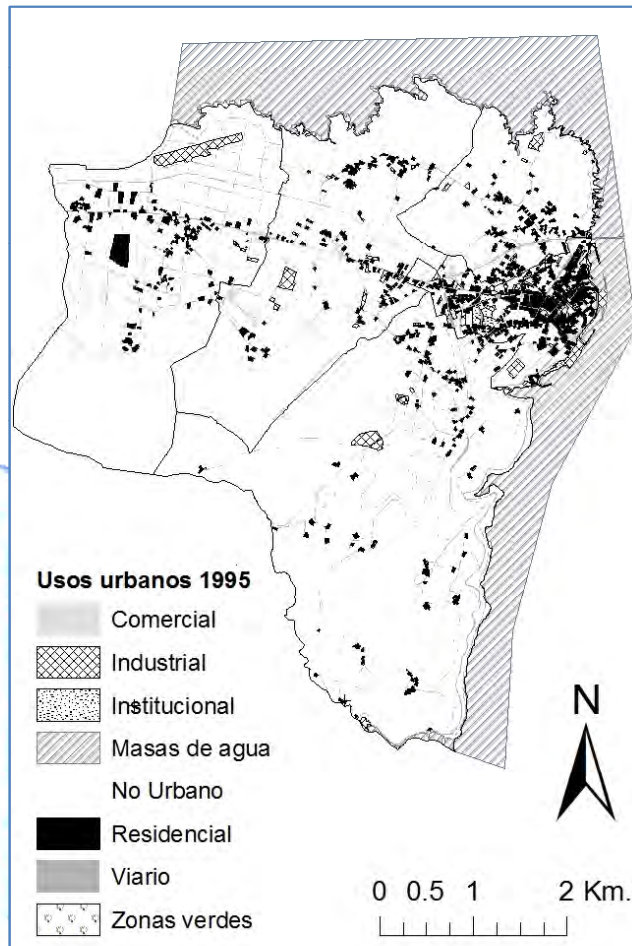
$$\ln(P/(1-P)) = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_k * x_k + error$$

Resultados: *análisis métricas espaciales.*

Usos del suelo	CA	NP	LPI	AREA_MN	FRAC_AM
Res 1995	128	223	0.42	0.57	1.11
Res 2003	159 ▲	223 ▲▼	0.78 ▲	0.71 ▲	1.16 ▲
Com 1995	3	7	0.01	0.38	1.05
Com 2003	8 ▲	11 ▲	0.06 ▲	0.77 ▲	1.05 ▲▼
Ind 1995	30	29	0.14	1.05	1.08
Ind 2003	40 ▲	42 ▲	0.15 ▲	0.95 ▼	1.08 ▲▼

Año	Dim. fractal borde	Dim. fractal superficie
1995	1.12	1.13
2003	1.18	1.44

Resultados: *evolución usos.*



INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

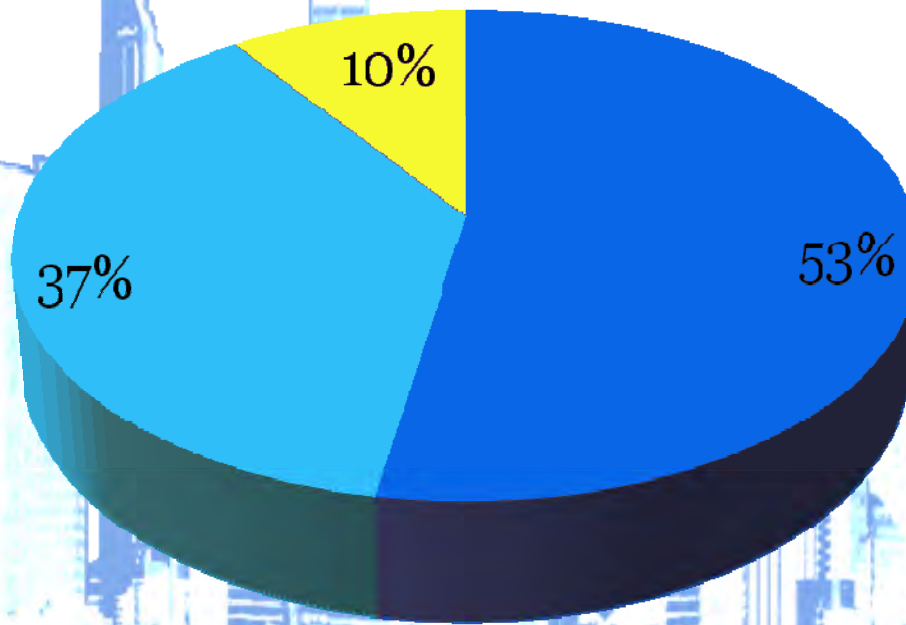
Cap. IV

Cap. V

Cap. VI

Resultados: *análisis de métricas.*

Tipos de crecimiento (Xu et al. 2007)



■ Crecimiento del borde

■ Crecimiento nuevo

■ Crecimiento de relleno

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

Cap. IV

Cap. V

Cap. VI

Resultados: *regresión logística.*

Probabilidad de transición de no urbano a residencial

Variable	Coeficiente
Tamaño de las parcelas	0.9
Distancia a carreteras principales	0.3
Distancia a carreteras secundarias	-1.4
Distancia a usos comerciales	-2.4
Distancia a usos residenciales	-1.4
Distancia a usos industriales	1
Distancia a la costa	0.2
Distancia a Ribadeo	6.6

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

Cap. IV

Cap. V

Cap. VI

Resultados: *regresión logística.*

Probabilidad de transición de no urbano a comercial

Variable	Coefficiente
Índice de forma de las parcelas	$3.1 * e^{15}$
Distancia a carreteras principales	$-1.2 * e^{14}$
Distancia a usos comerciales	$-4.6 * e^{14}$
Distancia a usos residenciales	$4.5 * e^{14}$
Distancia a usos industriales	$2.2 * e^{13}$
Distancia a Ribadeo	$-1.2 * e^{15}$

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

Cap. IV

Cap. V

Cap. VI

Resultados: *regresión logística.*

Probabilidad de transición de no urbano a industrial

Variable	Coefficiente
Distancia a carreteras principales	-7
Distancia a usos comerciales	-1.5
Distancia a usos residenciales	2.4
Distancia a usos industriales	-10.6

Conclusiones

- El **crecimiento** urbano se produce principalmente por la **expansión de áreas urbanas existentes**.
- El uso **Residencial** se establece principalmente **cerca de las carreteras** pero no a aquellas que tienen demasiado tráfico. El uso Industrial ejerce una **influencia negativa** en el residencial.
- El uso **comercial** se establece cerca de **carreteras principales** y del **centro urbano** de Ribadeo.
- El uso **Industrial** se establece **cerca de carreteras principales** y **otros usos industriales**.
- En general, las **dinámicas** urbanas en la villa de Ribadeo **no son muy diferentes** de las de las grandes ciudades.
- A pesar de que los patrones de crecimiento urbano pueden parecer dispersos, aprovechan los asentamientos existentes para crecer. Por lo tanto la **dispersión** urbana **es consecuencia de los patrones existentes**.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

Cap. IV

Cap. V

Cap. VI

Dinámicas de urbanización del suelo por áreas morfológicas: Un estudio de caso de Ribadeo (NO de España).

- Objetivos.
- Metodología.
- Resultados.
- Conclusiones.

García, A.M., Santé, I., Crecente, R., Miranda, D. *Land development dynamics by morphological areas: a Case Study of Ribadeo, NW Spain. Environment and Planning B: Planning and Design*, en prensa.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

Cap. IV

Cap. V

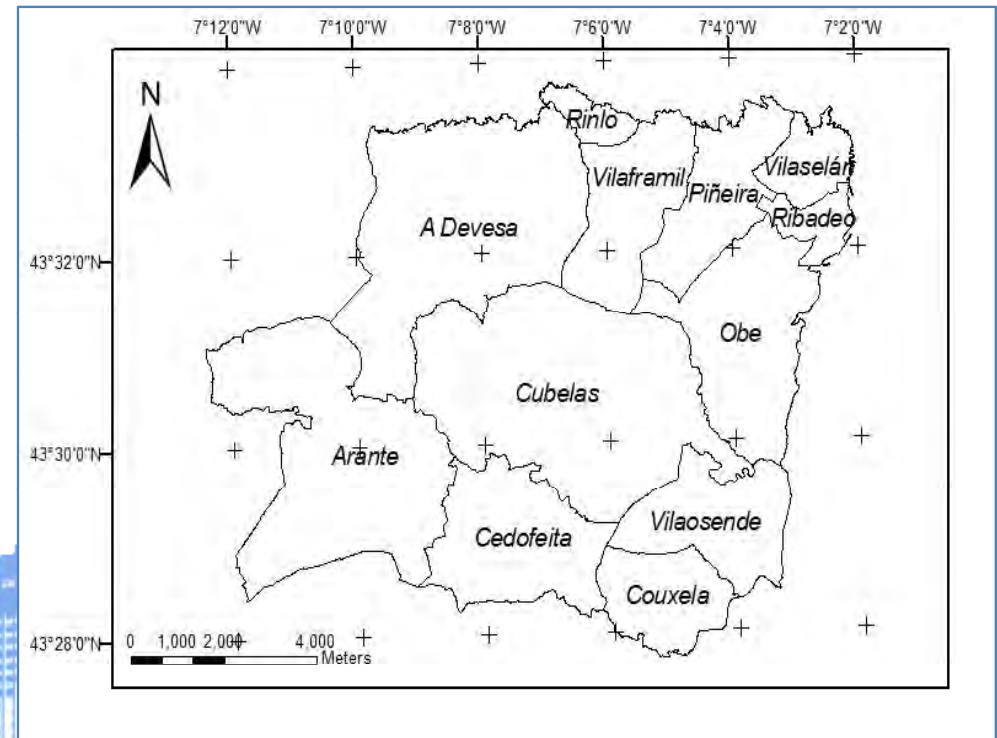
Cap. VI

Objetivos.

- **Diferenciar zonas con patrones de crecimiento urbano similares para identificar las dinámicas a escala local que los generan.**

Metodología.

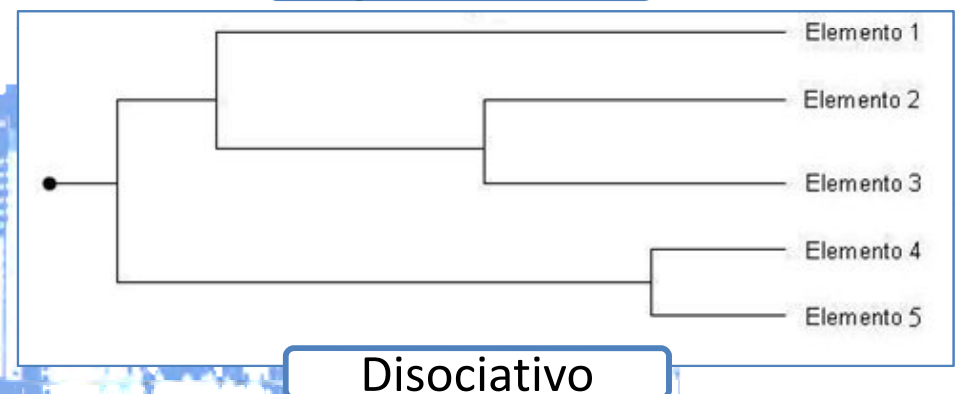
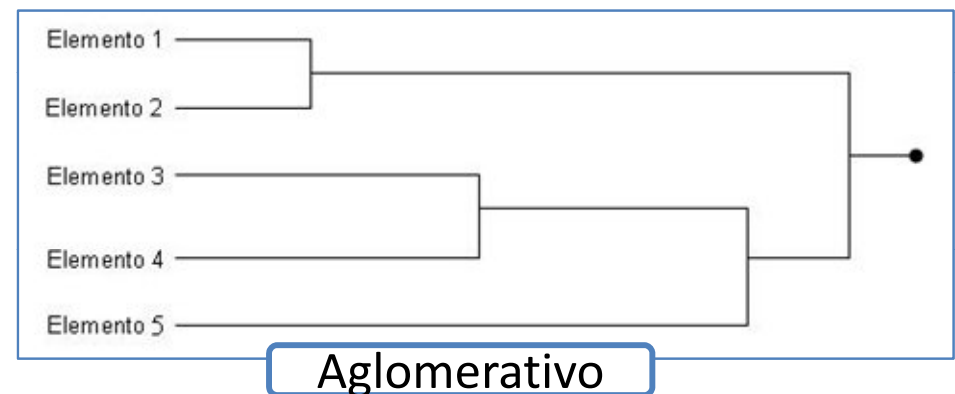
1. **Caracterización de los patrones de crecimiento** en cada parroquia mediante **métricas espaciales** (años 1978-2007).
2. **Análisis cluster** para identificar zonas con patrones similares.
3. Análisis de la **correlación entre variables** dentro de cada zona mediante el índice de **Spearman** y eliminación de las más correlacionadas ($\rho > 0.7$ o $\rho < -0.7$).
4. **Análisis de regresión logística** dentro de cada zona para identificar dinámicas.



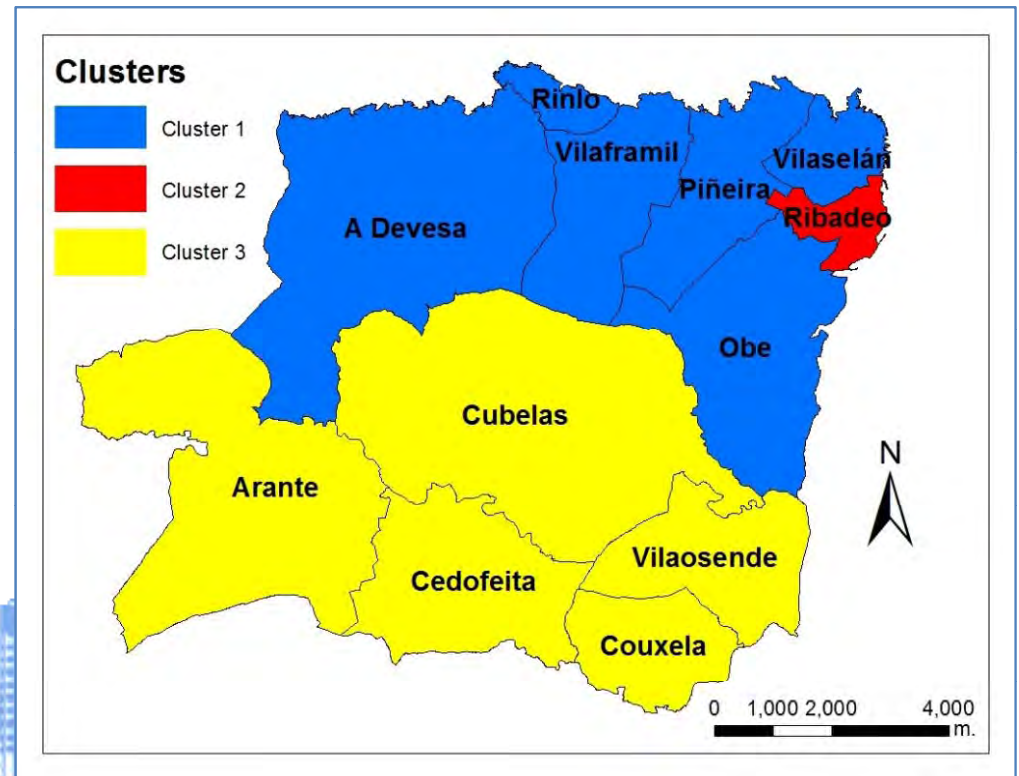
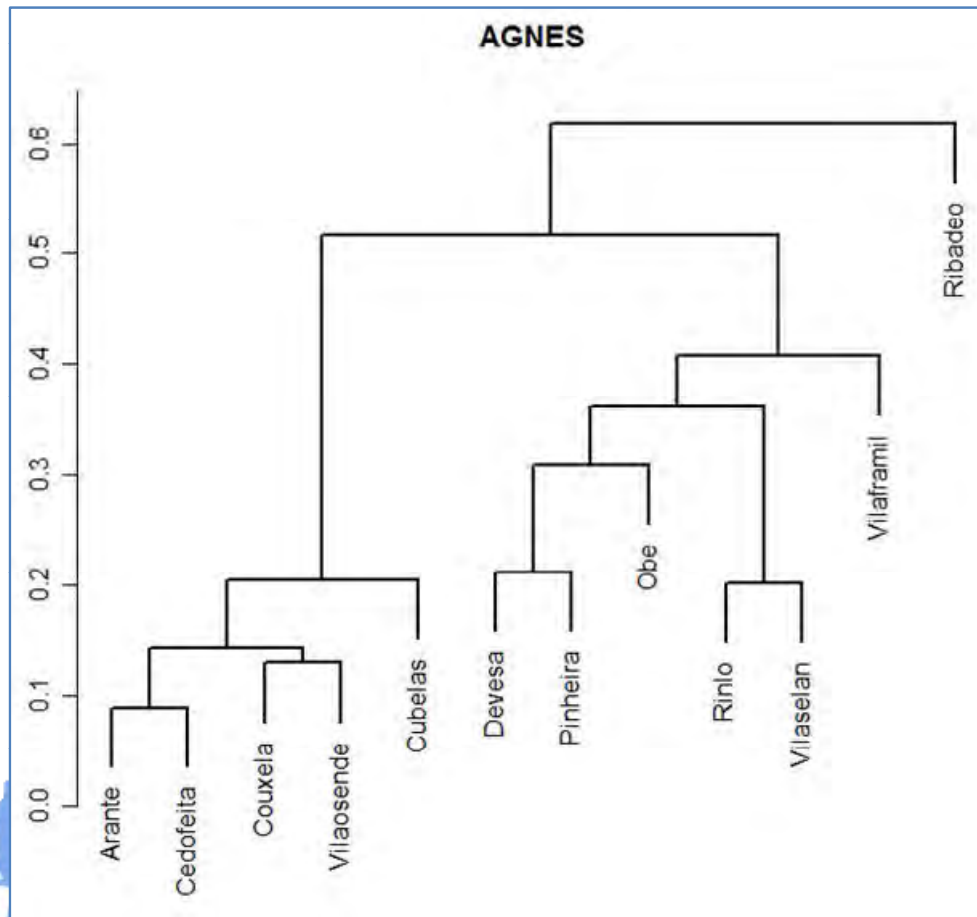
Metodología.

- Análisis cluster:
 - Cada **parroquia** se caracteriza mediante un **vector de variables**.
 - Se establece la similitud entre parroquias a través de la **distancia euclídea** entre los vectores que las caracterizan.
 - **AGNES** (módulo de R) método jerárquico aglomerativo.

$$d_{(i,j)} = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \dots + (x_{im} - x_{jm})^2}$$

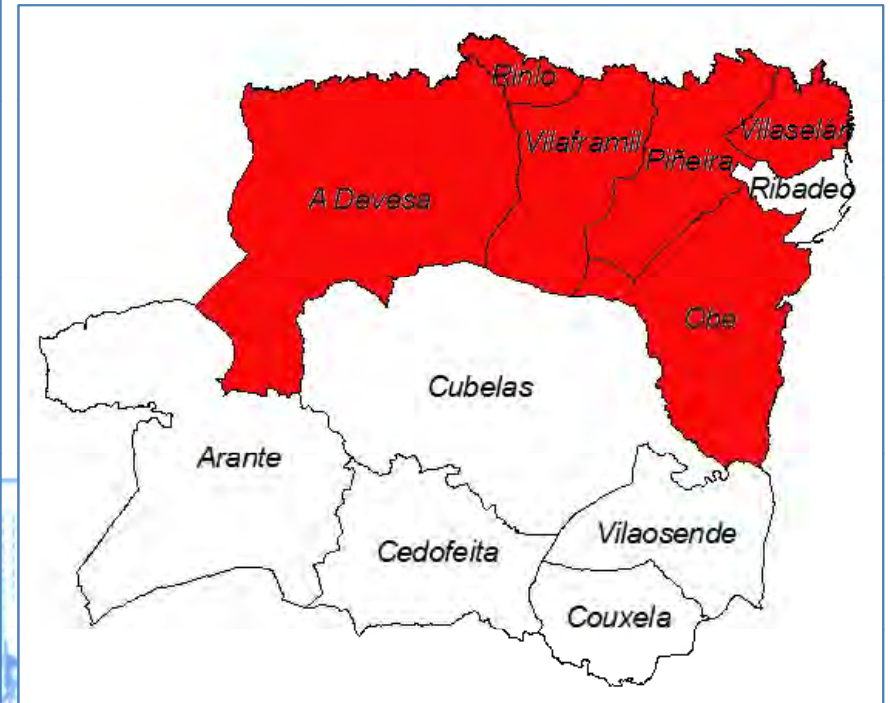


Resultados: *análisis cluster*.



Resultados: métricas espaciales y regresión logística.

- Zona 1:
 - Métricas:
 - **Patrones dispersos** pero en menor grado que los de la zona 3.
 - **Crecimiento mayor** que en la zona 3.
 - Regresión logística:
 - Usos urbanos atraídos por la **carretera principal** y la **proximidad a Ribadeo**.
 - **Parcelas** construidas suelen ser **grandes y regulares**.
 - La **proximidad a estaciones de tren** también ejerce una influencia positiva.



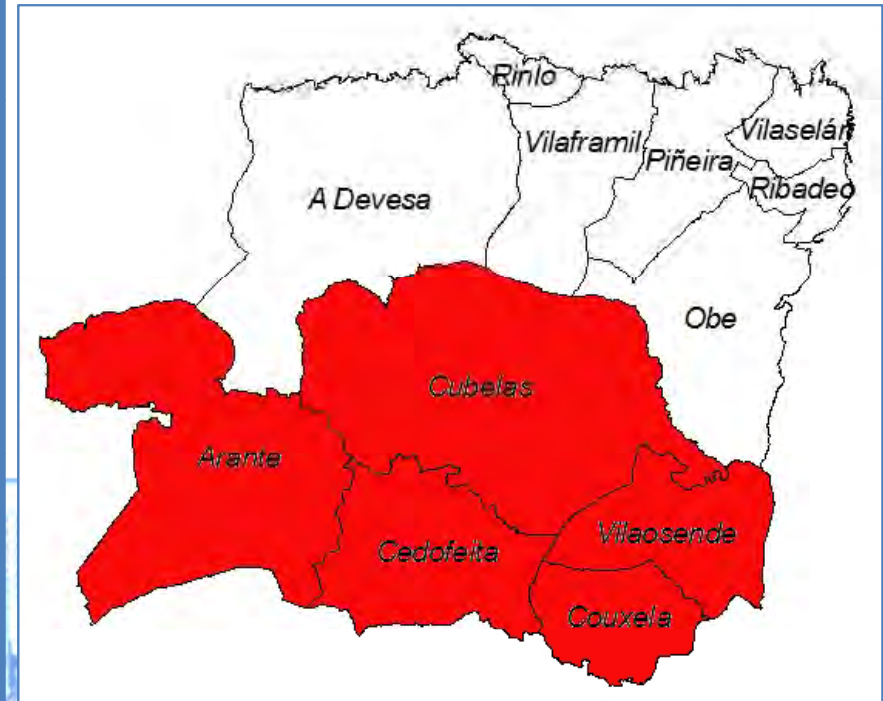
Resultados: métricas espaciales y regresión logística.

- Zona 2:
 - Métricas:
 - **Patrones más compactos:** menor número de manchas, más próximas y más grandes.
 - Patrones más **complejos** de las 3 zonas.
 - Regresión logística:
 - Las celdas urbanas se localizan **próximas al centro**.
 - La **vecindad** a usos urbanos ejerce **influencia negativa** (crecimiento hacia los bordes).
 - Se suele construir en **parcelas grandes e irregulares**.
 - Crecimiento por **incremento de la densidad** en el centro de Ribadeo.



Resultados: métricas espaciales y regresión logística.

- Zona 3:
 - Métricas:
 - **Patrones muy dispersos.**
 - Crecimiento menor que en la zona 1.
 - Regresión logística:
 - Se construye **cerca de los usos residenciales y explotaciones agropecuarias.**
 - Preferencia por **parcelas pequeñas y regulares.**
 - **No es significativa la proximidad a Ribadeo o accesibilidad a vías de comunicación.**



Conclusiones.

- La metodología demostró ser **útil a la hora de identificar dinámicas** de crecimiento **a escala local** y establecer **relaciones** ente estas y los **patrones** de crecimiento observados.
- Se identificaron **3 zonas**:
 - **Zona urbana** con patrones **compactos**, condicionados por la **proximidad al centro** de la villa.
 - **Zona litoral** con crecimiento **disperso** condicionado por la proximidad a las **vías de comunicación** y al núcleo de **Ribadeo**.
 - **Zona interior rural** con **escaso crecimiento** condicionado por la proximidad a las **viviendas** y a las **explotaciones** agrarias.

Análisis de la influencia del componente estocástico de los modelos urbanos basados en autómatas celulares.

- Objetivos.
- Introducción.
- Metodología.
- Resultados.
- Conclusiones.

García, A. M., Santé, I., Crecente, R., Miranda, D. *An analysis of the effect of the stochastic component of urban cellular automata models.* **Computers, Environment and Urban Systems**, en prensa. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2010.11.001

García, A. M., Santé, I., Miranda, D., Crecente, R. 2009. *Analysis of the stochastic component of urban models based on cellular automata.* **2nd International Conference on Urban Planning and Transportation**

Objetivos.

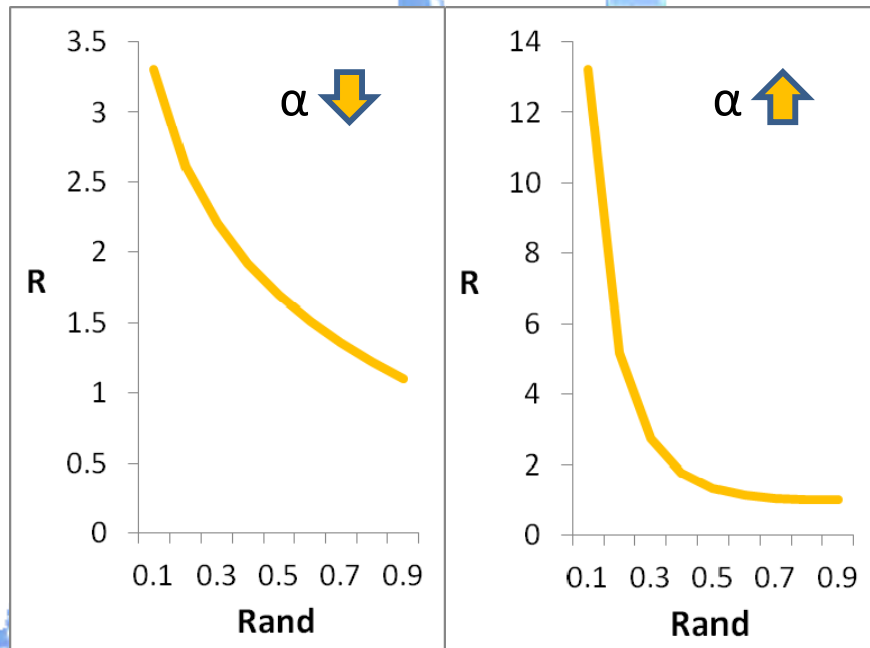
- **Analizar** cómo influyen las **diferentes maneras de introducir la aleatoriedad** en los resultados, para así diseñar modelos que simulen **patrones de crecimiento más realistas**.
- **La aleatoriedad** es la responsable de la **dispersión y complejidad** de los patrones de crecimiento simulados.

Introducción.

Maneras de introducir aleatoriedad en los modelos.

Perturbación estocástica

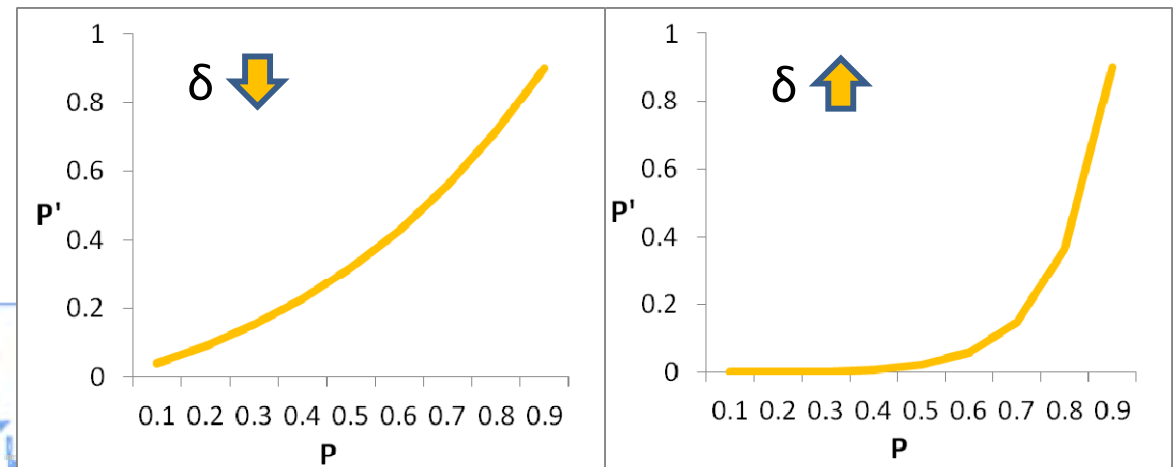
$$R = 1 + (-\ln(rand))^{\alpha}$$



Método Montecarlo

$$P' = P \times \exp[-\delta \times (1 - P / \max(P))]$$

$$P'' = \frac{P'}{\sum P'} \times N$$



Metodología.

- Modelo utilizado como base en el estudio:

Wu (2002)

$$P = \frac{p * n}{8}$$

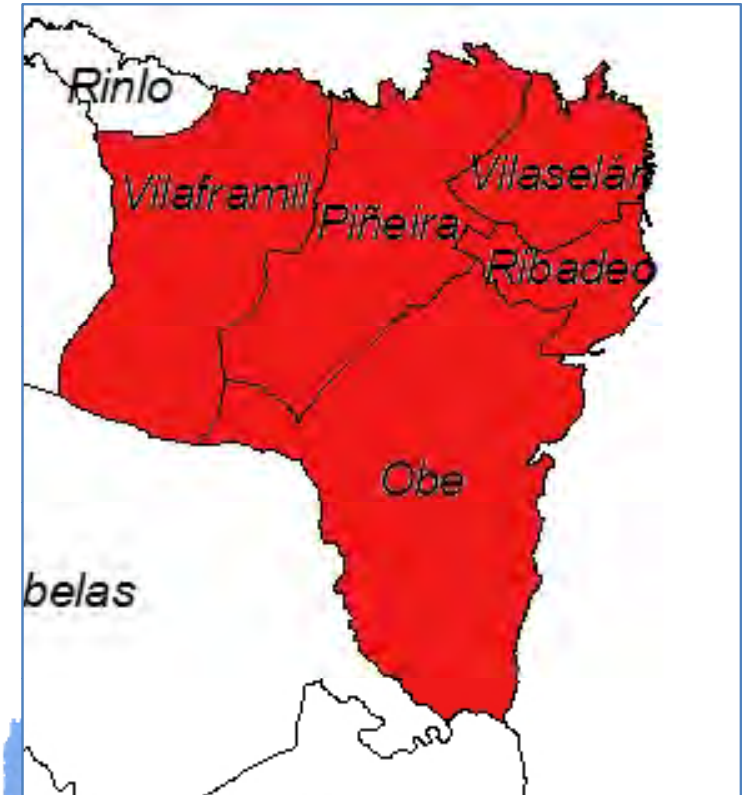


$$P = p * \left(\frac{n}{8} + 1 \right)$$

- Simple.
- Sencillo de calibrar (regresión logística).
- Utiliza uno de los métodos de introducir la aleatoriedad analizados.

Metodología.

1. **Implementar** modelos en Vb
2. Realizar **simulaciones** utilizando varios valores de α y δ .
3. Utilizar **métricas espaciales**, **tipos de crecimiento** (Xu et al.) y **mapas simulados**, para **comparar** el grado de dispersión y complejidad de los patrones obtenidos con cada valor de α y δ .



INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

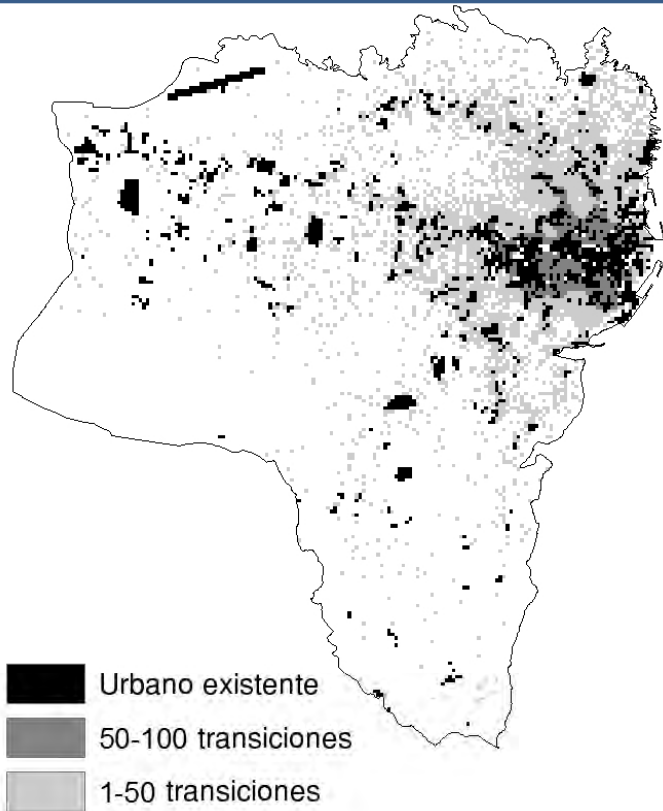
Cap. IV

Cap. V

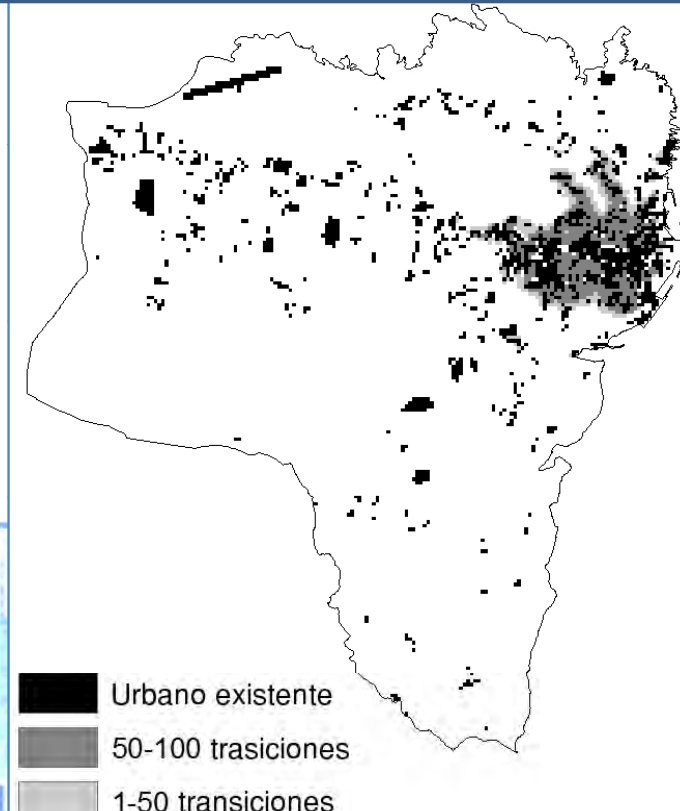
Cap. VI

Resultados.

Montecarlo $\delta = 9.9$

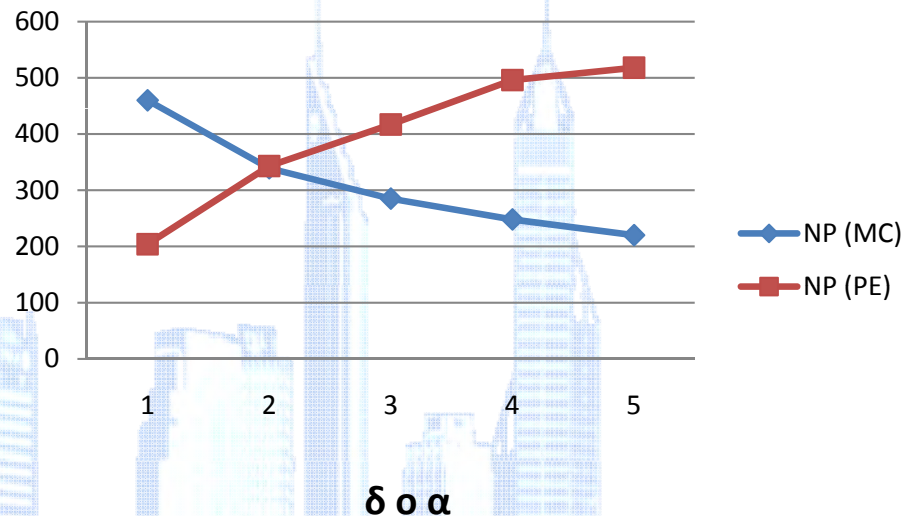


Perturbación estocástica $\alpha = 0.1$

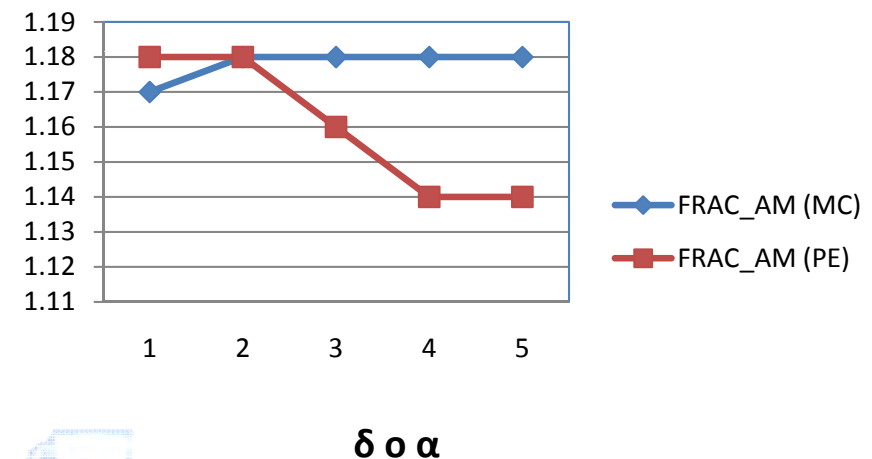


Resultados.

Número de manchas para varios valores de δ o α

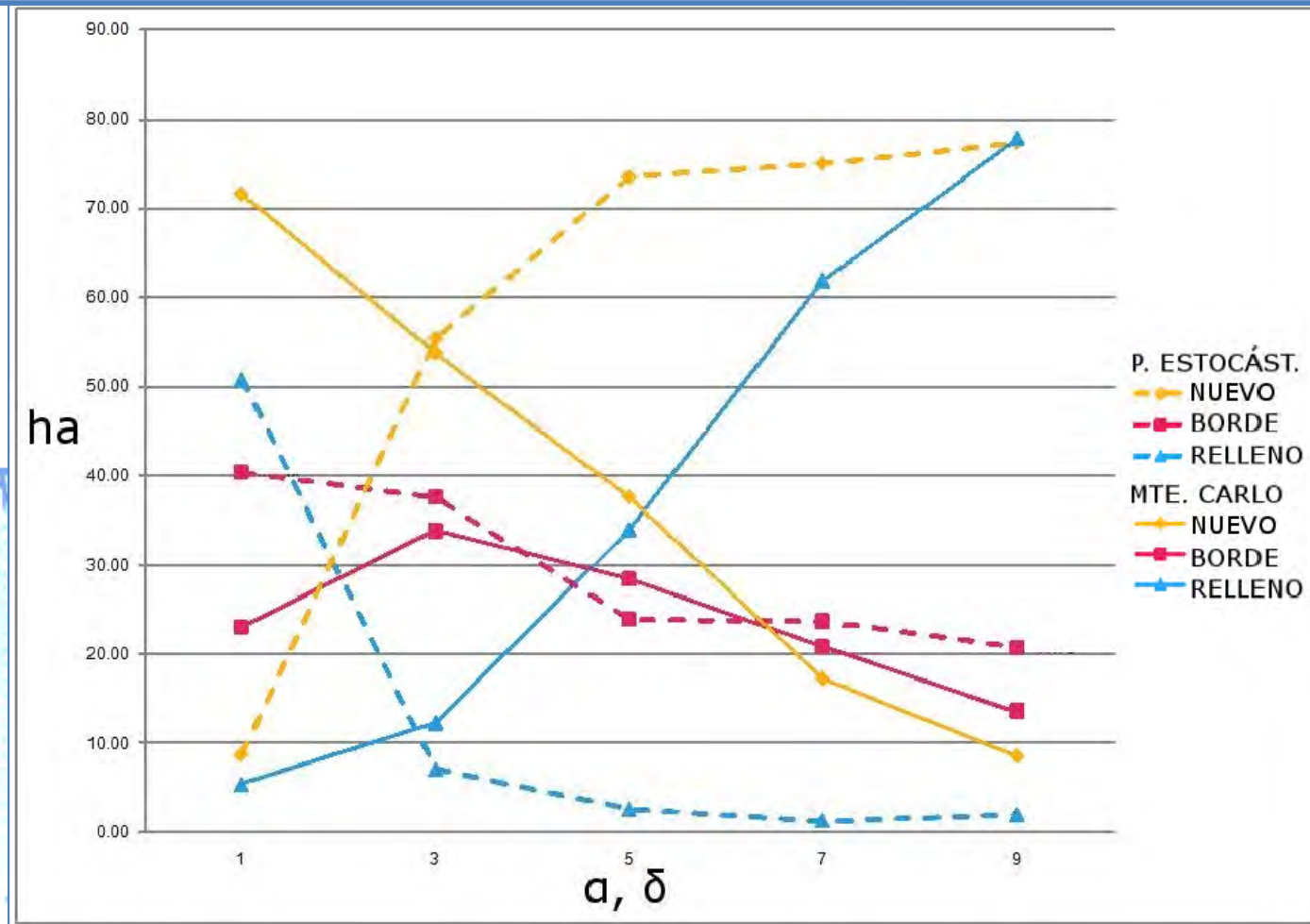


Dimensión fractal media ponderada con el área para varios valores de δ o α



	NP	AREA_MN	FRAC_AM	ENN_MN
Real 2007	232	1.08	1.18	106.91
Sim. 2007 $\delta=7.5$	231	1.04	1.16	116.21
Sim. 2007 $\alpha=1$	204	1.19	1.18	114.15

Resultados.



Conclusiones.

- El **método Montecarlo** introduce un **mayor grado de incertidumbre estocástica** en los resultados.
- El **método Montecarlo** permite un **mayor control** del grado de **aleatoriedad** introducida en el modelo.
- La **perturbación estocástica** permite obtener **patrones más realistas**, no obstante, la curva logarítmica utilizada para controlar el grado de aleatoriedad produce **variaciones muy abruptas de los resultados al variar** el coeficiente α . Por lo tanto, el **grado de aleatoriedad** introducido es **difícil de calibrar**.

Análisis comparativa de modelos de autómatas celulares para la simulación del crecimiento de pequeños núcleos urbanos de Galicia.

- Objetivos.
- Modelos utilizados y metodología.
- Resultados.
- Conclusiones.

García, A.M., Santé, I., Boullón, M., Crecente, R., Miranda, D. 2010. *Análisis comparativo de modelos de autómatas celulares para la simulación del crecimiento de pequeños núcleos urbanos de Galicia*. VI Congreso Internacional de Ordenación del Territorio

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULOS

CONCLUSIONES

Cap. I

Cap. II

Cap. III

Cap. IV

Cap. V

Cap. VI

Objetivos.

- Conocer cómo se **adaptan** los **modelos** más destacados de la bibliografía, a la **simulación** del crecimiento urbano en **pequeñas villas**.

Modelos utilizados y metodología.

- Familia de modelos de White:

- White (1997)

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

- Engelen et al. (1999)

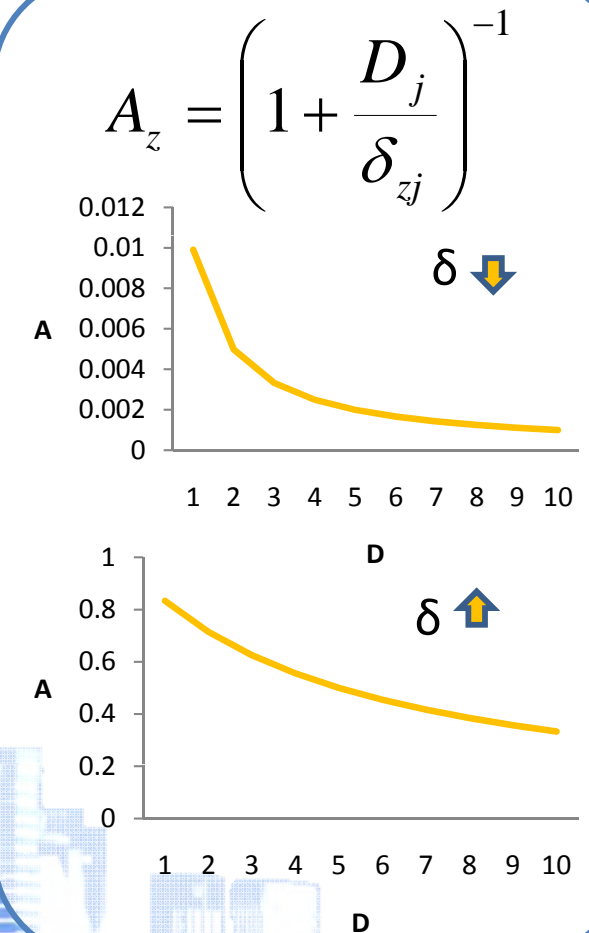
$${}^t P_{hz} = {}^t Rand \times (S_z)^s \times ({}^t Z_z)^p \times ({}^t N_z)^n$$

- MOLAND (Lavalle et al. 2004)

$${}^t P_{hz} = {}^t Rand \times (1 + S_z) \times (1 + A_z) \times (1 + {}^t Z_z) \times ({}^t N_z)$$

$$N_z = \sum_{k,i,d} w_{kd} I_{id}$$

			6			
	5	4	3	4	5	
	4	2	1	2	4	
6	3	1	0	1	3	6
	4	2	1	2	4	
	5	4	3	4	5	
			6			



Modelos utilizados y metodología.

- Familia de modelos de White.
 - Consideran varios usos del suelo:
 - White: Fijos y activos.
 - Moland: Fijos, activos y pasivos.
 - Engelen no permite cambios de usos urbanos a no urbanos.
 - Los modelos se calibran por conocimiento experto y métodos empíricos.

Modelos utilizados y metodología.

- SLEUTH (Clarke et al. 1997). *Solo considera uso urbano y no urbano.*
 - **Cuatro tipos de crecimiento** controlado por cinco factores: Crecimiento espontáneo, crecimiento difuso, crecimiento orgánico y crecimiento influenciado por las carreteras.
 - **Variables de entrada:** Sombreado, pendientes, carreteras (3 años), mapas de usos urbano y no urbano (4 años).
 - **Modelo automodificante.**
 - **Calibración automática** en cuatro pasos.
- Wu (2002). *Solo considera uso urbano y no urbano.*

Modelos utilizados y metodología.

- Calibración (1978-1995):

- Usos:

- Modelos White: Residencial, industrial, comercial, agrícola, forestal (resto).
 - SLEUTH y Wu: urbano (residencial, comercial, industrial, institucional, zonas verdes) no urbano (resto).

- Variables:

- Modelos White:

- **Aptitud** (Regresión logística): Pendientes, distancia Ribadeo, distancia costa (distancia carreteras).
 - **Accesibilidad** (Conocimiento experto y empíricamente).
 - **Vecindad** (= parámetros utilizados por White).
 - **Aleatoriedad** (empíricamente).

- Modelo Wu:

- $p = \text{Aptitud}$ (Regresión logística)

Modelos utilizados y metodología.

- Validación de resultados:
 - *Matrices de confusión.*
 - *Métricas espaciales.*
 - *Tipos de crecimiento.*
 - *Análisis por comparación visual.*

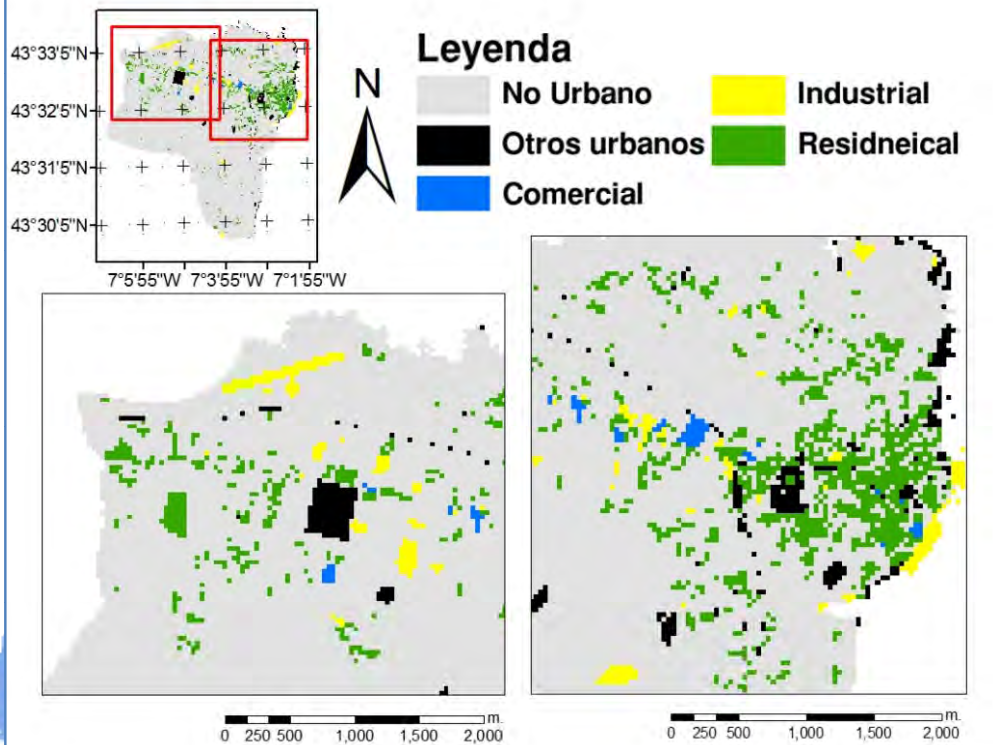
Resultados.

Modelo	Kappa
MOLAND	0.7598
Engelen	0.7554
White	0.7471
SLEUTH	0.7447
Wu	0.7443

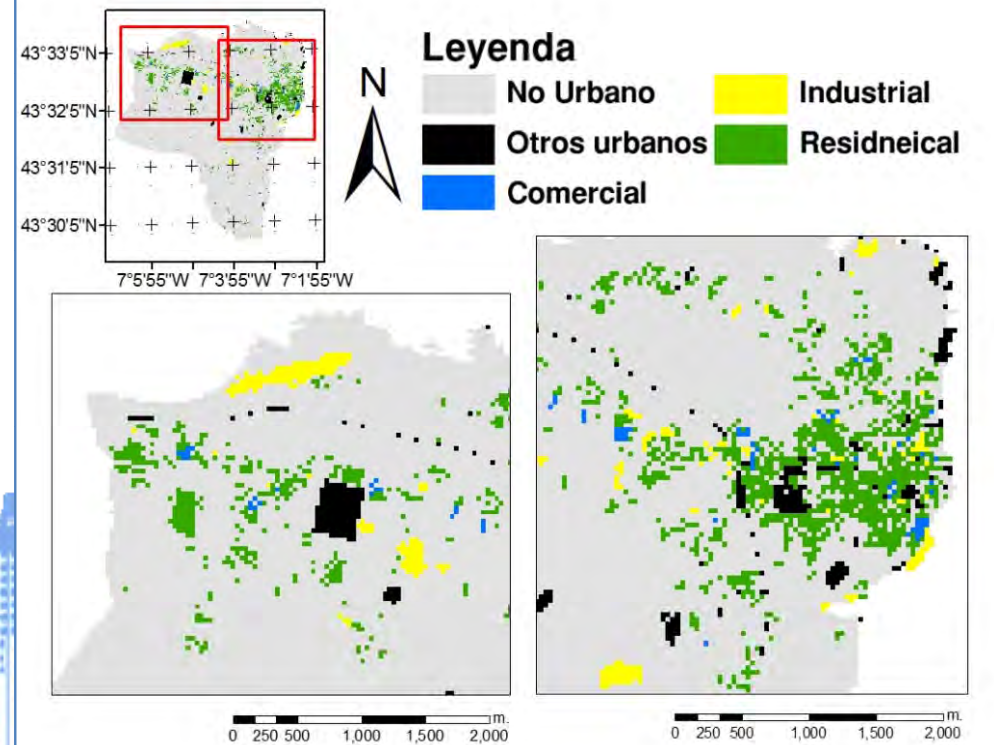
- Métricas y tipos de crecimiento:
 - *Patrones más próximos a la realidad producidos por los modelos tipo White.*
 - *Wu y SLEUTH producen patrones más compactos.*

Resultados.

REAL 2007

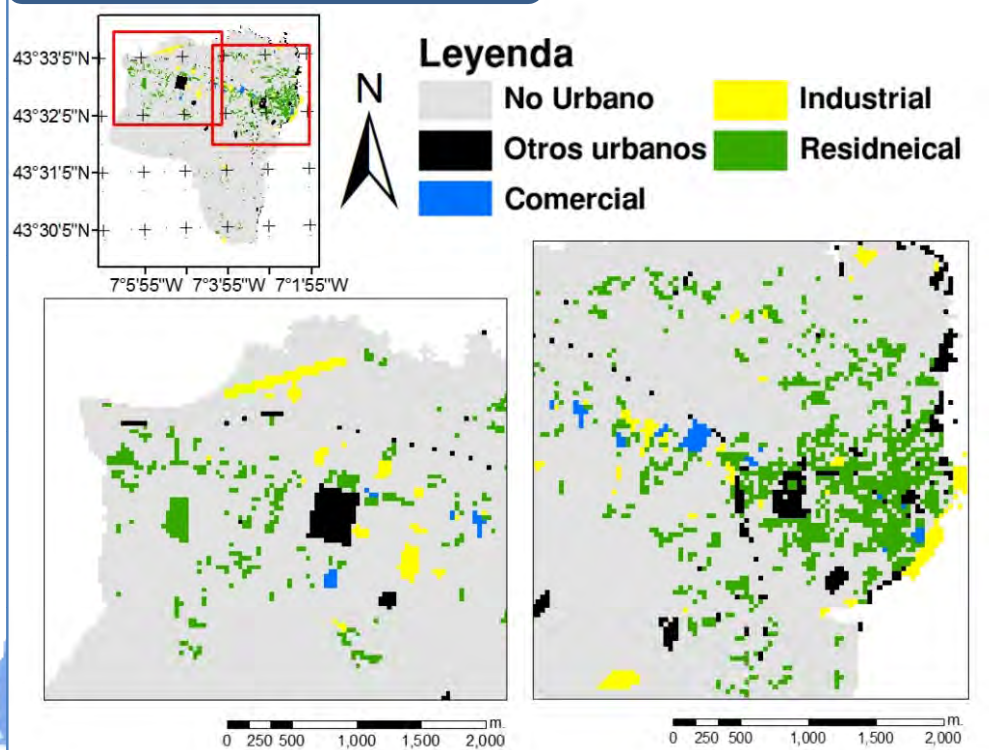


SIM. MOLAND 2007

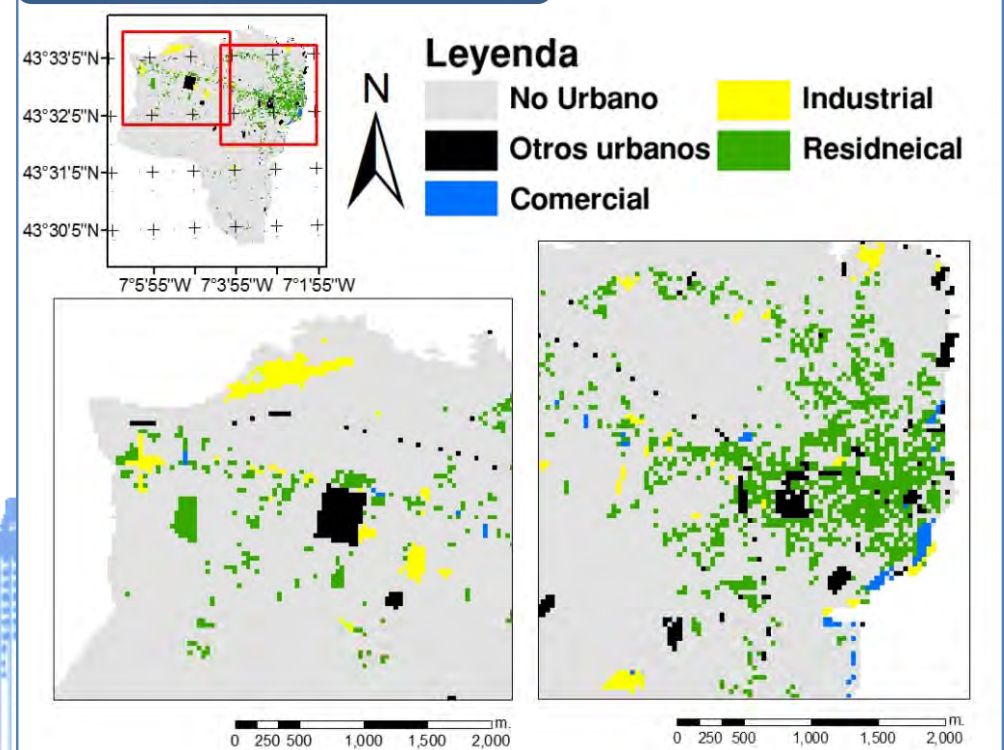


Resultados.

REAL 2007

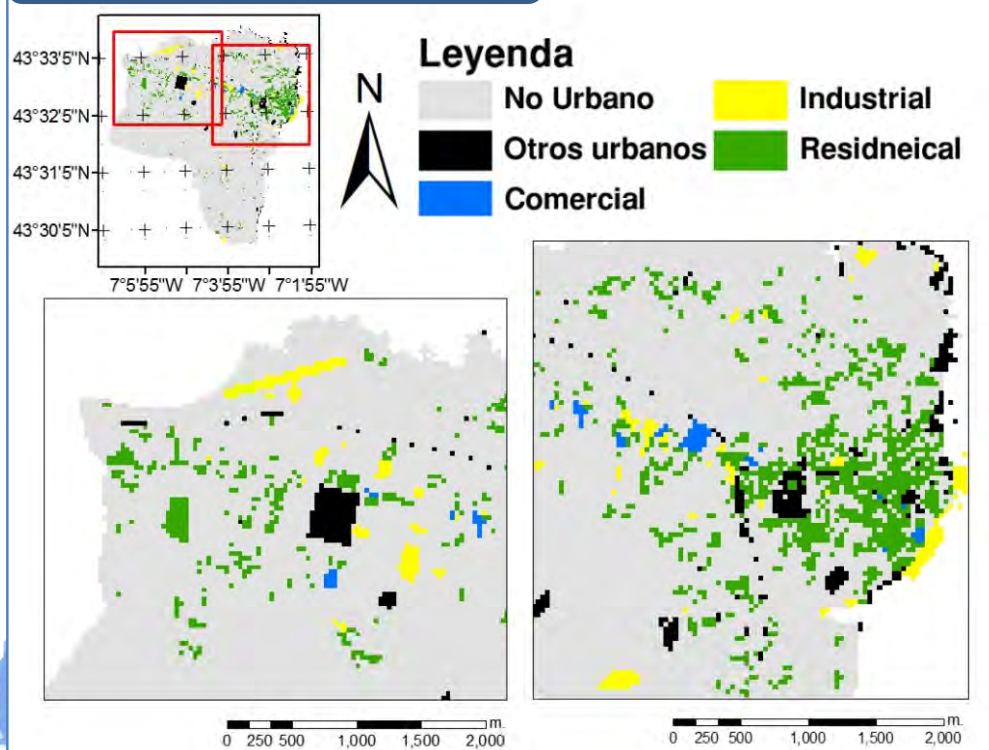


SIM. WHITE 2007

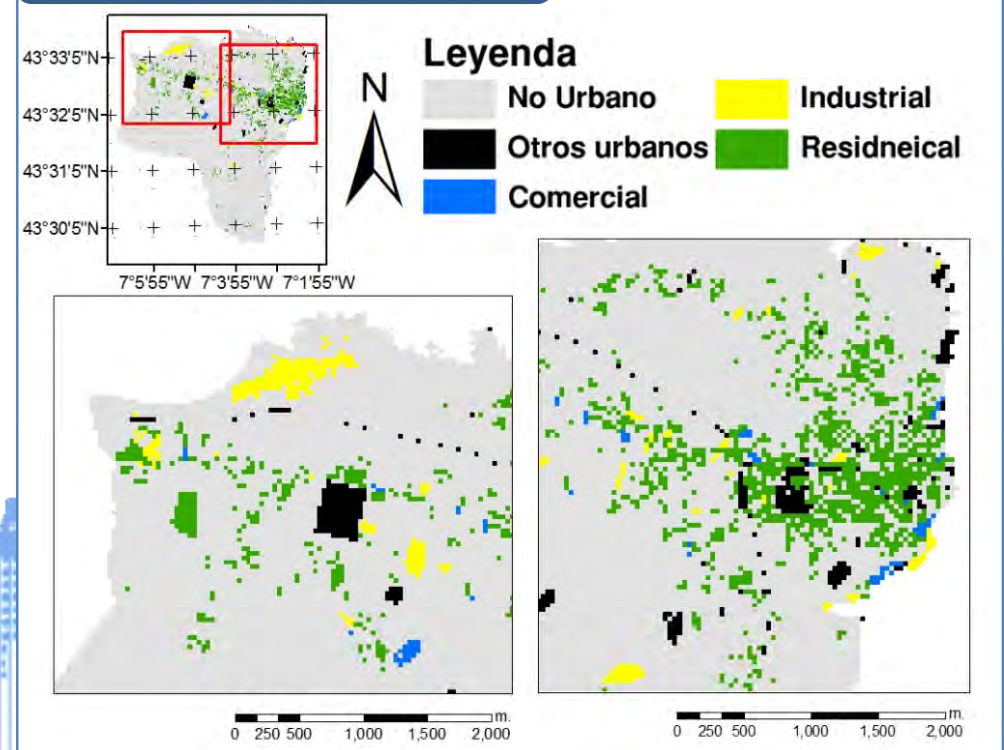


Resultados.

REAL 2007

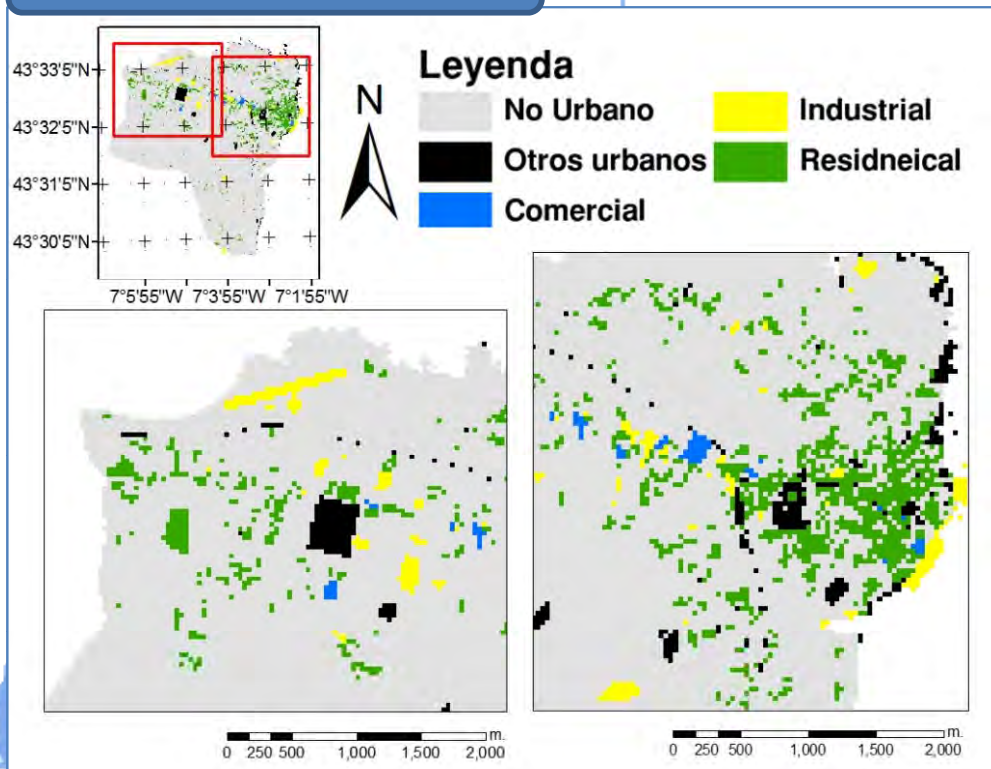


SIM. ENGELEN 2007

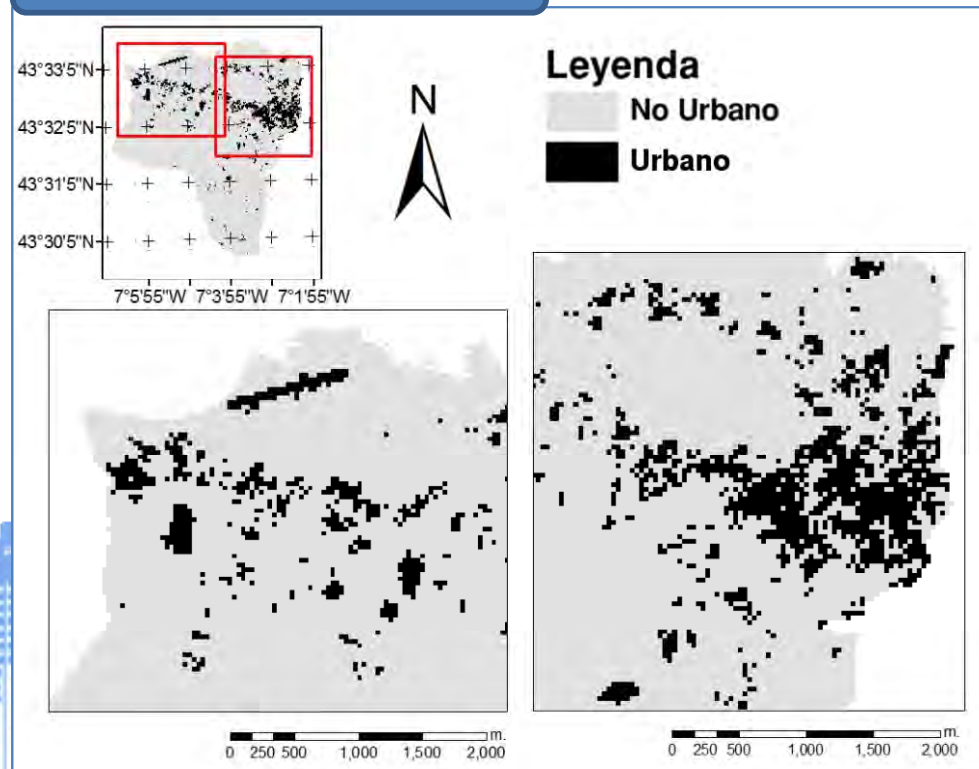


Resultados.

REAL 2007

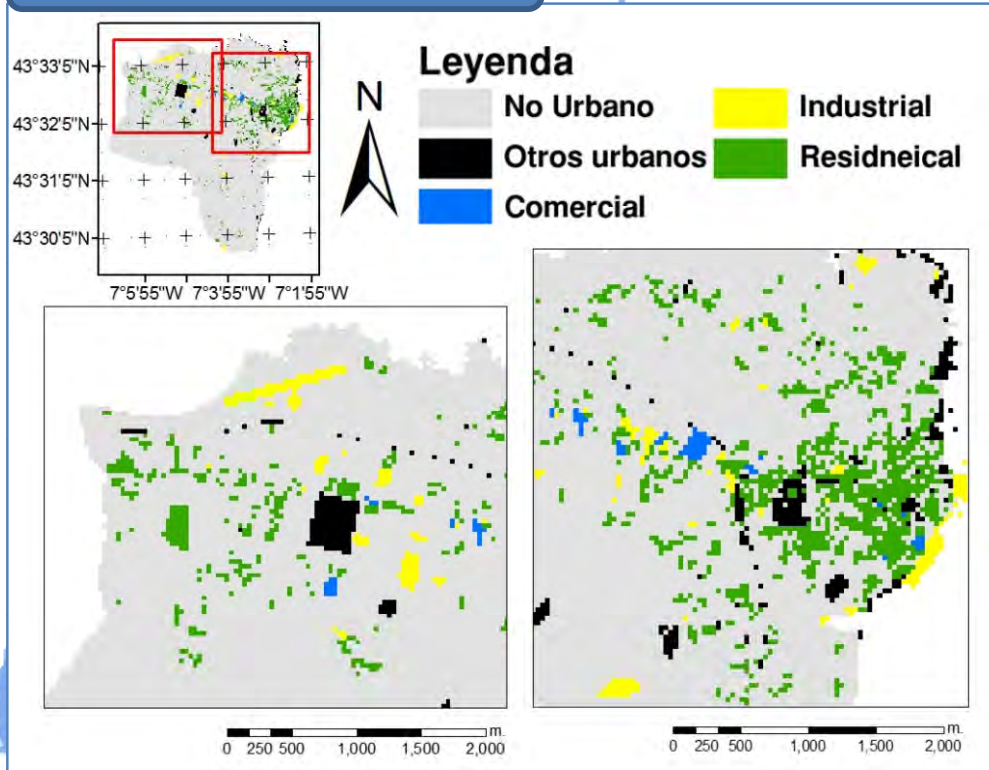


SIM. SLEUTH 2007

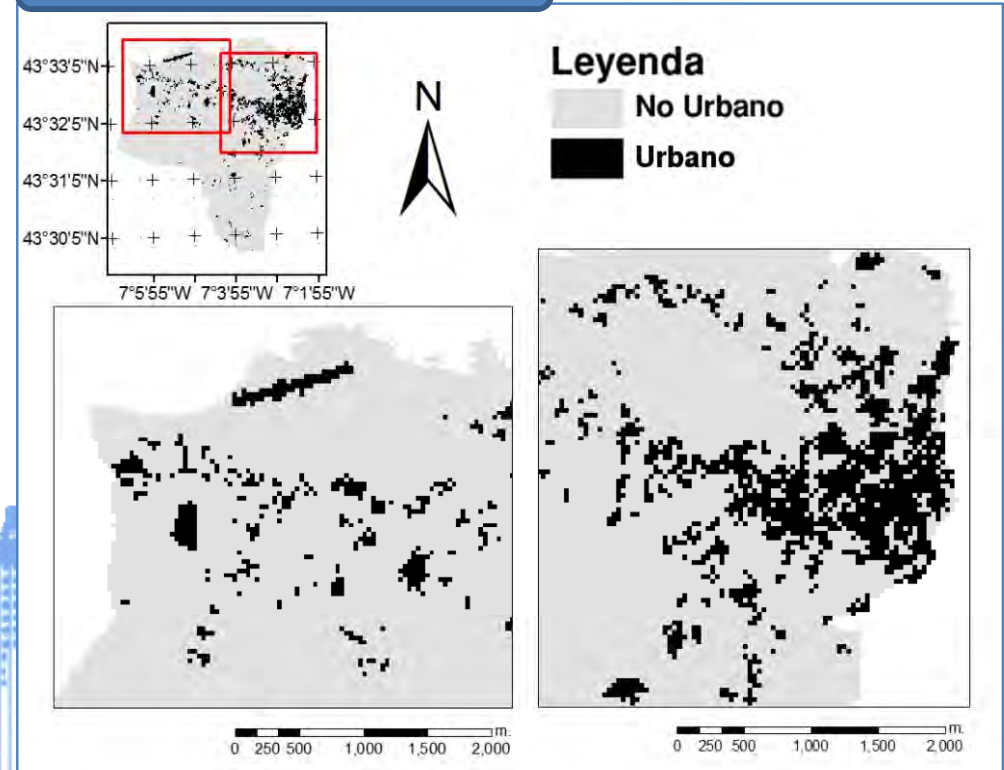


Resultados.

REAL 2007



SIM. WU 2007



Conclusiones.

- **Dinámicas** del crecimiento de **pequeños núcleos** son más **lentas**; tardan más en manifestarse patrones de crecimiento que permitan identificarlas.
- **Mayor dificultad de simulación** de pequeños núcleos urbanos derivada de la necesidad de una **mayor resolución**.
- Los modelos que consideran **varios usos** del suelo producen simulaciones **mejores** (modelos de la familia de los de White y Engelen).
- Los modelos que son más **complejos**, son más propensos a **introducir errores** y más **difíciles de calibrar**.★
- Necesidad de **métodos de calibración**, basados en **técnicas de optimización**, que **faciliten** el proceso de calibrado.

Modelo de autómata celular adaptado a la simulación del crecimiento urbano en Galicia.

- Diseño del modelo.
- Resultados.
- Conclusiones.

Diseño del modelo.

- Modelo basado en la familia de modelos de White.
 - Usos Fijos (forestal y agrícola)
 - Usos Activos

			6			
	5	4	3	4	5	
	4	2	1	2	4	
6	3	1	0	1	3	6
	4	2	1	2	4	
	5	4	3	4	5	
			6			

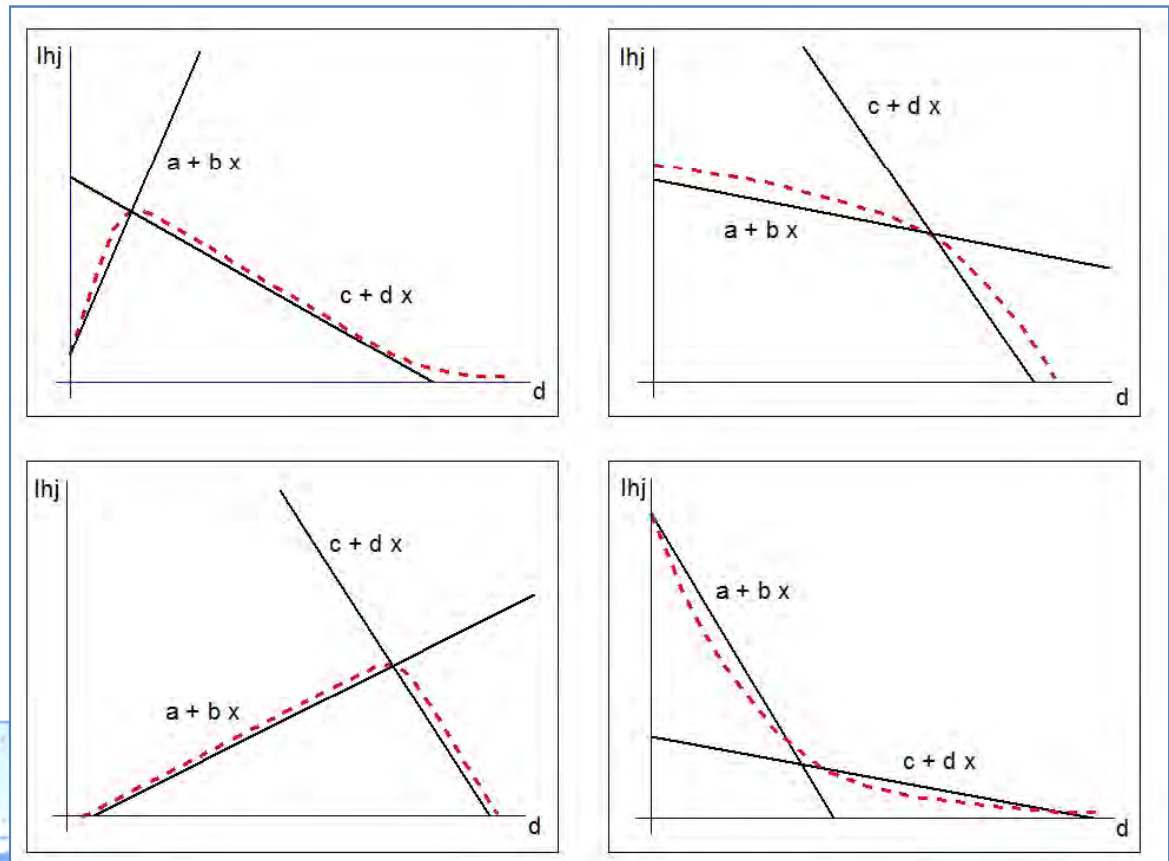
$$P_{hj} = R_j \times v \times s_j^\beta \times (1 + N_j)_j$$

Diseño del modelo.

La aptitud se calculó mediante regresión logística:

1. **Identificación de variables más significativas** para cada uso $Pr > |z|$.
2. **Cálculo de la aptitud** para cada uso con las variables más significativas.

Para **calcular los coeficientes de la vecindad** se utilizaron curvas que representan la influencia de la proximidad de un uso en la probabilidad de transición a otro uso.



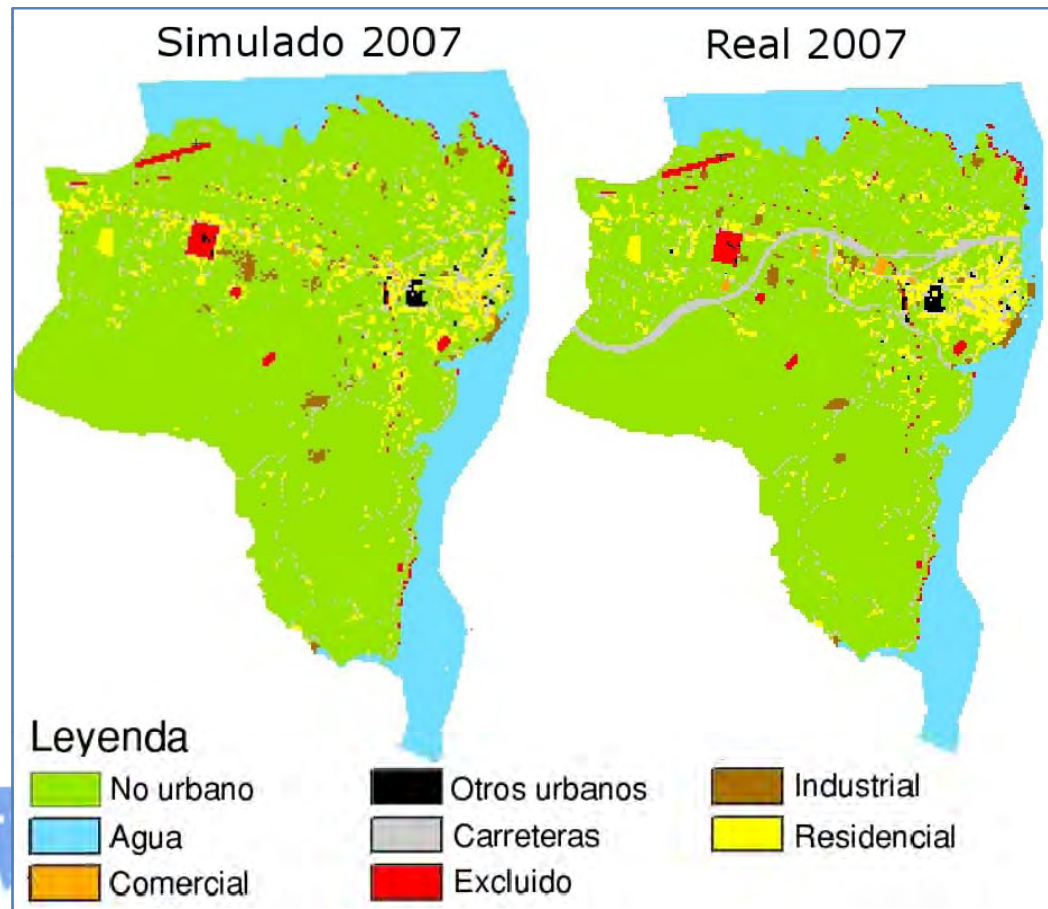
Diseño del modelo.

- Calibración mediante Algoritmo Genético.
 - Creación de población hija (1500 individuos)
 - Evaluación de la población hija (índice de Pontius (2002), NP, AREA_MN, FRAC_AM)
 - Selección de los progenitores (Tournament).
 - Cruce de los progenitores (recombinación con 2 puntos de corte) y creación de la población hija.
 - Aplicación de la tasa de mutación a la población hija (0.008%).
 - El mejor progenitor sobrevive.

Resultados.

	USO	NP	LPI	AREA_MN	FRAC_AM	ENN_AM
Simulado 2007	Industrial	56	0.11	0.63	1.1	148.23
Real 2007	Industrial	45	0.10	0.77	1.06	276.24
Simulado 2007	Residencial	272	0.44	0.65	1.13	89.53
Real 2007	Residencial	224	0.98	0.78	1.16	88.79
Simulado 2007	Comercial	61	0.01	0.16	1.02	106.89
Real 2007	Comercial	13	0.06	0.73	1.05	252.12

Resultados.



Modelo	Índice Kappa
Propuesto	0.9126
Moland	0.7598
Englen	0.7554
White	0.7471
Sleuth	0.7447
Wu	0.7443

Conclusiones.

- Los **algoritmos genéticos** facilitan el **calibrado** del modelo y posibilitan la utilización del mismo como herramienta de ayuda a la decisión.
- **Errores** observados debido a las **características inherentes** a los procesos de crecimiento de **pequeñas villas**.
- Los pequeños **desajustes** entre patrones de crecimiento simulados y reales se debe al **método de validación** empleado, pues emplea **varios índices** y el algoritmo intenta buscar una solución intermedia.

Conclusiones finales.

- El **crecimiento urbano en pequeñas villas**, a pesar de presentar procesos **similares** a los de grandes urbes, es **lento** y **tardan en hacerse evidentes las dinámicas** que lo regulan. Este factor lleva a que los **modelos** tengan que hacer simulaciones **con mayor grado de detalle**.
- Es necesario encontrar un **equilibrio** entre el **grado de detalle** de las simulaciones y la **sencillez** de los AC. De esto depende la **facilidad de calibrado** y el **poder de análisis** de los modelos, factores a tener en cuenta a la hora de utilizarlos como herramientas de ayuda a la decisión.
- Es necesario encontrar **métodos matemáticos de validación y calibración** que permitan **mejorar los resultados** de los modelos y hacerlos más **accesibles** al usuario final.

Investigación futura.

- **Métodos de calibración** que capten mejor las dinámicas a simular.
- **Mejora de los métodos de validación** empleados para que sean capaces de evaluar mejor los patrones de crecimiento producidos.
- **Integración** de los modelos de AC con otro tipo de modelos, de manera que se creen **sinergías** y se **suplan las carencias** de los AC.

Muchas gracias por su atención