

ESCALA Y MODELIZACIÓN: ¿CUÁL ES LA RELACIÓN ENTRE LA ESCALA DE LA CARTOGRAFÍA LULC EMPLEADA Y LA EXTENSIÓN DEL ÁREA MODELADA?

David García-Álvarez¹, María Teresa Camacho Olmedo¹

¹ Universidad de Granada, Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Facultad de Filosofía y Letras, Campus de Cartuja, 18071, Granada, España. dagaral@ugr.es, camacho@ugr.es

RESUMEN

La influencia de la escala en el análisis y representación de los datos espaciales, a pesar de su importancia y de ser señalada como una línea de investigación prioritaria, permanece aún sin una adecuada comprensión. Son numerosos los conceptos a los que podemos hacer referencia cuando hablamos de escala. En la presente comunicación nos centramos en dos de ellos (escala cartográfica y su asociada unidad mínima cartografiable, así como la extensión del área de estudio), analizando la relación entre ambos y la modelización LULC (*Land Use Land Cover*, Usos y Coberturas del Suelo).

A través del empleo de las métricas de la ecología del paisaje, la herramienta VALIDATE del software IDRISI, así como la matriz propuesta por Pontius y Millones, se ha analizado la influencia de los dos conceptos de escala en los escenarios creados mediante el modelo Dinamica EGO. Se han efectuado cuatro simulaciones: dos para cada base de datos utilizada (SIOSE 1.25.0000 y CORINE 1.100.000), realizando para cada una de ellas una simulación para el conjunto del área de estudio y otra creando un sub-modelo para cada municipio dentro del área modelada.

Los resultados pretenden ayudar a aquellos investigadores en el ámbito de la modelización LULC en la parametrización inicial de sus modelos. Del mismo modo, se busca alcanzar una mejor comprensión de la relación que existe entre los distintos conceptos de escala.

Palabras clave: Escala; Modelización; SIOSE; CORINE; Dinamica EGO

ABSTRACT

Despite of its importance and its consideration as a priority line of research, the scale influence in the analysis and representation of spatial data remains without a good understanding. There are several meanings of scale. In this paper we focus in two of them (cartographic scale and its associated minimum mapping unit, together with the extent), analysing the relation between each other and with LULC (Land Use Land Cover) modelling.

Through the use of landscape metrics, the tool VALIDATE in the IDRISI software and the matrix proposed by Pontius and Millones, we have analysed the influence of both meanings of scale in the scenarios obtained by the model Dinamica EGO. They were made four simulations: two for each dataset used (SIOSE 1.25.0000 y CORINE 1.100.000), executing for each one simulation for the whole study area and another one considering the municipalities inside the study area as submodels.

The results can help LULC modelling researchers in the initial parametrization of their models. Likewise, we have tried to achieve a better understating of the relation between the different meanings of scale.

Keywords: Scale; Modelling; SIOSE; CORINE; Dinamica EGO

1. INTRODUCCIÓN

La problemática que introduce la escala en el estudio y análisis de los datos espaciales ha sido un recurrente tema de investigación, tanto para el caso de estudios de carácter geográfico (Lloyd, 2014; Obeso, 2014; Meentemeyer, 1989) como concretamente para estudios en el ámbito de la modelización (Lesschen *et al.*,

2005; Ménard y Marceau, 2005). A pesar de ello, aún no se ha logrado una adecuada comprensión de los efectos provocados por el cambio de escala en los resultados de nuestros análisis, especialmente en el caso de la modelización, siendo así señalado tal tema como una línea prioritaria de investigación (Houet *et al.*, 2010; Castilla *et al.* 2009; Quattrochi y Goodchild, 1997).

Una de las principales complejidades en el estudio de la escala es la variedad de significados que se le puede atribuir a este término (Ménard y Marceau, 2005; Wu, 2004; Lam y Quattrochi, 1992). En este sentido, se habla de escala cartográfica (relación entre el espacio representado en un mapa y sus medidas reales), escala geográfica u observacional (tamaño del mapa o área estudiada) o escala operacional (escala a la cual ciertos procesos operan en el medio ambiente). Del mismo modo, cuando se habla de escala suele mencionarse también el concepto de resolución, ya sea espacial (tamaño del píxel), temática (nivel de desagregación de la leyenda) o temporal (extensión temporal del análisis). En este sentido, algunos autores han llegado a hablar de escala espacial o temporal, identificando tales conceptos con los de resolución espacial y temporal (O'Sullivan y Perry, 2013). En relación con el concepto de escala y resolución espacial cabe mencionar también para el caso de los mapas de usos y coberturas del suelo la unidad mínima cartografiada, es decir, el tamaño mínimo que debe tener un polígono para poder ser representado en el mapa. Castilla *et al.* (2009) lo consideran un elemento que, junto a la resolución temática, debe ser incluido dentro del concepto de escala.

Con todo, el estudio de los efectos que introduce la escala en nuestros análisis no debe ya enfocarse sólo a una única definición de la misma, sino que han de tenerse en cuenta también las relaciones que se dan entre los distintos conceptos de la escala anteriormente apuntados. En consecuencia, mediante la presente comunicación se pretende obtener una mejor comprensión de los efectos que introduce la escala (escala cartográfica y su asociada unidad mínima cartografiada) de la cartografía LULC (*Land Use Land Cover*, Usos y Coberturas del Suelo) junto al tamaño del área de estudio en la modelización de los usos y coberturas del suelo.

Para lograr tal objetivo se han comparado las dos cartografías LULC distribuidas de manera estandarizada para el caso de España (SIOSE y CORINE), ejecutando un modelo distinto para cada una con Dinamica EGO. La posibilidad que ofrece tal software de realizar la modelización para el total del área estudiada o bien a nivel de región, nos ha permitido estudiar esa relación apuntada entre la escala de los mapas introducidos en el modelo y el tamaño del área de estudio modelada.

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

EL Área Central de Asturias (Fig. 1) ha sido el ámbito objeto de modelización. Su notable dinamismo en el contexto de la provincia de Asturias justifica tal decisión. En este sentido, en este ámbito se integran las principales ciudades de la provincia, concentrándose en él en torno al 80% de su población y el grueso de la actividad económica de la región (Rodríguez *et al.*, 2009). Es el crecimiento de las áreas urbanas e industriales y, en general, de los suelos artificiales, los procesos de cambio más significativos en el área. No obstante, su principal característica radica en su constitución a partir de un sistema policéntrico de ciudades interrelacionado entre sí pero que, al mismo tiempo, da lugar a la generación de conjuntos con un perfil económico diferenciado y, por consiguiente, con unas dinámicas también distintas (Fernández *et al.*, 2007).

El área de estudio ha sido delimitada de acuerdo a los límites establecidos por las *Directrices Regionales de Ordenación del Territorio* de 1991; actualmente único plan territorial vigente que afecta a este espacio.

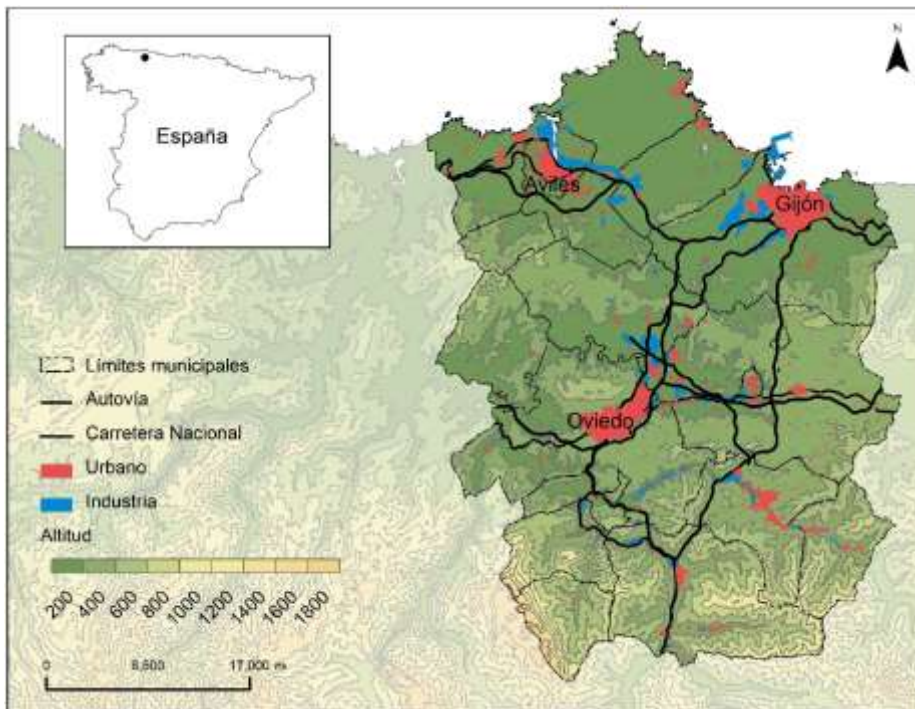


Figura 1. Mapa de localización del Área Central de Asturias según la delimitación propuesta por las Directrices Regionales de Ordenación del Territorio de 1991.

Fuentes: Mapa Topográfico Nacional 1:100.000; Modelo Digital del Terreno 25m (IGN)

3. DATOS Y METODOLOGÍA

En el análisis realizado se han empleado dos cartografías LULC diferentes: SIOSE y CORINE, ya utilizadas y comparadas en estudios previos (García-Álvarez, 2016). SIOSE se realiza a una escala 1:25.000, con una superficie mínima cartografiada de 0.5-2ha en función de la cobertura considerada. Es un modelo de datos orientado a objetos, en el que a cada polígono delimitado por fotointerpretación se le asocia un registro en el que se indican las proporciones de todas las coberturas presentes en tal polígono, independientemente de su tamaño o importancia. Por su parte, CORINE se realiza a una escala 1:100.000, con una superficie mínima cartografiada de 25ha. Es un modelo de datos jerárquico, en el que a cada polígono delimitado por fotointerpretación se le asigna una única etiqueta o clase de la leyenda jerárquica previamente definida y que permite agrupar o desagrupar las clases que integran la cartografía en función de las necesidades del usuario.

En el proceso de actualización de cartográfica, en SIOSE sólo se representan los cambios mayores de 0.4ha. Cuando las proporciones de las coberturas que integran un polígono varían en al menos un 20% también se modifica el registro asociado a este polígono, indicando las nuevas proporciones. En el caso de CORINE sólo quedan representados aquellos cambios mayores de 5ha.

Se han vinculado las leyendas de SIOSE y CORINE de cara a lograr dos mapas equivalentes y comparables. Para ello, se ha tomado como referencia el nivel 3 de la leyenda CORINE, simplificando ésta de acuerdo con las necesidades de nuestro estudio. La vinculación se ha basado en la coincidencia semántica entre clases de una y otra cartografía de acuerdo con lo establecido en sus documentos técnicos y manuales de fotointerpretación. En tanto SIOSE se ha diseñado para servir de base para la actualización de CORINE, tal coincidencia semántica es plena. La leyenda utilizada así como su vínculo con las clases simples de SIOSE puede encontrarse en el material complementario a esta comunicación (doi.org/10.6084/m9.figshare.3188389).

Se realizó también un proceso de generalización de la base de datos SIOSE con el objetivo de que cada polígono quedase definido por una única clase. La comparación de los dos mapas obtenidos (SIOSE y CORINE) ha revelado importantes diferencias e incoherencias entre ambos (García-Álvarez, 2016), a pesar de que en las dos fechas utilizadas en nuestro análisis (2005-06 y 2011-2011) el CORINE ha sido obtenido a partir de la generalización del SIOSE. En tanto el modelo requiere de datos en formato ráster, las bases de datos empleadas han sido rasterizadas a unas resoluciones de 12.5m (SIOSE) y 50m (CORINE) de acuerdo con el

método propuesto por Hengl (2006) para determinar la resolución espacial según la escala cartográfica de las bases de datos. Se ha escogido, entre las tres resoluciones propuestas por tal método, la recomendada, una opción intermedia entre la resolución más fina posible y la más gruesa.

El modelo elegido para la simulación ha sido Dinamica EGO. Se trata de un modelo de autómatas celulares ampliamente testado y reconocido (Mas *et al.*, 2011) (Pérez Vega *et al.* 2012), caracterizado por su flexibilidad, que nos ha permitido ajustar las dos simulaciones realizadas de cara a lograr la máxima similitud entre ellas. Modeliza las transiciones entre las distintas categorías de usos y coberturas del suelo, obteniendo las tasas de cambio mediante el método de las cadenas de Márkov a partir de la comparación de los dos mapas de calibración introducidos en el modelo. La localización de los cambios se efectúa a partir de dos funciones: *expand*, que simula los cambios como expansión o retroceso de polígonos de cada clase ya existentes, y *patcher*, que simula la aparición de nuevos polígonos de cada clase. El usuario puede indicar, para ambas funciones, el tamaño y varianza de los nuevos polígonos simulados o bien de los polígonos que se expanden. Del mismo modo, se puede indicar la proporción de cambios modelados por cada función, teniendo en cuenta que el modelo siempre localizará primero los cambios de la función *expand* y dejará el conjunto de cambios restantes para localizar mediante la función *patcher*. Finalmente, la ubicación de estos cambios se realiza según los mapas de probabilidad de transición obtenidos a partir de los factores introducidos en el modelo según el método de los *Weights of Evidence*. El modelo incluye también un componente estocástico de cara a introducir en los resultados el componente aleatorio que tienen todos los procesos dependientes de decisiones humanas. Más información acerca del modelo y sus características puede ser encontrada en Soares *et al.* (2002).

Dinamica EGO ofrece también la opción de dividir el ámbito de estudio en regiones previamente definidas, cuya simulación se realiza a modo de sub-modelo dentro del modelo general. En nuestro caso, el modelo ha sido ejecutado en primer lugar para el conjunto del área y, en segundo lugar, tomando como regiones los municipios que integran el Área Central de Asturias (Fig. 1) que, como ya ha sido señalado anteriormente, presentan características y dinámicas de cambio muy contrastadas.

Las categorías simuladas han sido las coberturas artificiales que protagonizan las mayores dinámicas de transformación en el área y cuyo cambio queda gobernado por procesos lógicos posibles de replicar en un modelo: tejido urbano continuo; tejido urbano discontinuo; zonas industriales o comerciales; redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados; zonas de extracción minera; escombreras y vertederos; zonas en construcción. Más información acerca de los parámetros del modelo así como de la leyenda y las bases de datos utilizadas puede ser encontrada en el material complementario asociado a esta comunicación.

En el análisis de los resultados se han empleado las métricas de ecología del paisaje (*landscape metrics*) así como técnicas de validación ampliamente utilizadas en el campo de la modelización: la matriz de tabulación cruzada propuesta por Pontius y Millones (2011) y la herramienta VALIDATE del software IDRISI. Estos análisis se han realizado únicamente sobre los cambios simulados por cada modelo, sin considerar el resto de coberturas que han permanecido constantes para la fecha simulada.

Las métricas de ecología del paisaje han sido calculadas a partir del software FRAGSTRATS 4.2 y nos han permitido evaluar el cambio en el patrón de los mapas analizados consecuencia de la modelización. Por su parte, los mecanismos de validación previamente señalados han sido de gran utilidad para estudiar las diferencias entre los mapas analizados en términos de error de cantidad (*quantity disagreement*) y error de localización (*allocation disagreement*).

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las cuatro simulaciones realizadas, dos para cada base de datos utilizada (SIOSE y CORINE), una para el conjunto del área modelizada y otra para la modelización a nivel de región, muestran notables diferencias entre los diferentes escenarios obtenidos. En este sentido, para el caso de los cambios simulados, no se evidencia prácticamente ningún acuerdo entre las distintas simulaciones comparadas (Fig. 2). En aquellos casos en los que se ha producido un acuerdo en la localización del cambio éste se puede

considerar como aleatorio. En consecuencia, las principales diferencias y similitudes a encontrar entre los diferentes modelos se relacionan con la cantidad de cambio simulado, en tanto en lo que respecta a su localización, como ya se ha comentado, el nivel de acuerdo es mínimo.

A las conclusiones ya obtenidas en estudios previos en relación con la misma línea de investigación (García-Álvarez, 2016), que han demostrado la influencia de la escala cartográfica y su asociada unidad mínima cartografiable (UMC) en la modelización de usos y coberturas del suelo, podemos añadir ahora el notable efecto que la extensión del área de estudio produce también en los resultados obtenidos por el modelo. Tanto en el primer caso, ya analizado con anterioridad en el citado estudio, como en el segundo, objeto de análisis en esta comunicación, el acuerdo entre los cambios simulados por los diferentes modelos, parametrizados de una manera similar, ha sido prácticamente nulo. No obstante, para el primer caso comentado (influencia de la escala cartográfica y UMC en los modelos LULC) el papel que ha determinado la disimilitud entre las bases de datos de partida, tal y como se ha indicado en el apartado anterior, ha debido de jugar un papel importante.

En lo que respecta a la relación que existe entre la extensión del área de estudio y las diferencias en los escenarios simulados, para el modelo aquí utilizado (Dinamica EGO) las transiciones consideradas han jugado un papel crucial (Tabla 1). Dinamica EGO, al igual que Land Change Modeler (LCM), lleva a cabo la modelización a partir de un conjunto determinado de transiciones entre coberturas (ej. transición de terrenos de cultivo a tejido urbano continuo). Esto introduce una restricción en el propio modelo: sólo aquellos polígonos identificados como la categoría destino de la transición considerada pueden ser modelados (Camacho et al., 2015).

Las transiciones consideradas han sido aquellas que tuvieron lugar en las fechas de calibración de los modelos (2005-2006 – 2011-2012), es decir, sólo se han considerado aquellos cambios entre categorías que ya se dieron en el periodo de calibración. En tanto los municipios del ámbito de estudio presentan un dinamismo y unos procesos de cambio completamente distintos, el número y tipo de transiciones consideradas ha sido muy diferente para cada caso: mientras los municipios más netamente rurales y estancados presentan un menor número de transiciones (ej. Illas o Riosa), aquellos con un gran centro de población urbano presentan un mayor número y de variedad más amplia (ej. Oviedo o Gijón).

	Avilés	Carreño	Castillón	Corvera	Gijón	Gozón	Illas	Langreo	Las Regueras	Llanera	Mieres	Morcín	Noreña	Oviedo	Ribera de Arriba	Riosa	S. M. del Rey Aurelio	Siero
Modelización por regiones																		
SIOSE	14	10	7	14	20	7	2	16	5	14	10	5	5	19	10	2	8	21
CORINE	2	3	0	2	9	0	0	0	0	1	2	1	0	6	2	0	1	6
Modelización para el total del área																		
SIOSE	22																	
CORINE	18																	

Tabla 1. Número de transiciones simuladas por cada modelo diferenciando, para el caso de los modelos ejecutados a nivel de región, el número de transiciones simuladas en cada municipio.

Lo anterior restringe de forma evidente los cambios simulados por el modelo. En el caso de la simulación realizada para el conjunto del ámbito de estudio el modelo considera las mismas transiciones en toda el área. Por su parte, en el modelo realizado a nivel municipal, sólo aquellos cambios que ya han ocurrido en un determinado municipio pueden ser replicados en el futuro en el mismo. Esto, además de restringir ciertos

	Área total* (ha)						Porcentaje respecto al total de cambios**						Número de polígonos***					
	Total		Regiones		Total		Regiones		Total		Regiones		Total		Regiones			
	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE		
Tejido urbano continuo	148.66	18.75	30.20		22.32	4.75	19.24	0.00	34	4	109							
Tejido urbano discontinuo	138.89	162.50	12.08	26.75	20.87	41.35	7.64	52.49	66	58	42					9		
Zonas industriales	135.31	78.50	16.70	1.50	20.31	20.00	10.57	3.17	40	15	49					2		
Redes viarias	90.69	58.25			13.60	14.84	0.00	0.00	16	2								
Minería	34.50	9.25	15.89	7.25	5.19	2.35	10.13	14.03	24	1	37					3		
Escombreras y vertederos	24.09	9.00	10.14	0.50	3.63	2.29	6.46	0.90	7	4	36					1		
En construcción	93.81	56.75	72.19	15.00	14.08	14.43	45.96	29.41	27	9	156					8		
Total	665.95	398.00	157.20	51.00	100.00	100.00	100.00	100.00	214	93	429					23		

	Área media ponderada**** (ha)						Índice de cohesión de polígonos*****					
	Total		Regiones		Total		Regiones		Total		Regiones	
	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE	SIOSE	CORINE
Tejido urbano continuo	6.23	6.63	0.46		95.08	82.77	79.83					
Tejido urbano discontinuo	8.36	18.50	0.55	4.18	94.36	81.43	80.85	79.20				
Zonas industriales	9.64	10.62	0.55	0.83	95.26	84.61	82.03	44.54				
Redes viarias	18.13	32.64			97.26	93.67						
Minería	1.57	9.25	0.70	3.27	90.31	85.72	84.01	75.73				
Escombreras y vertederos	4.53	2.46	0.44	0.50	93.86	68.78	79.47	31.49				
En construcción	5.30	22.98	0.79	3.64	94.45	87.52	84.92	71.92				

*Área total, en hectáreas, de los cambios simulados para cada clase; **porcentaje de los cambios de cada categoría respecto al total de cambios simulados en cada escenario; ***Número de polígonos simulados para cada categoría; ****Área media (ha) de los polígonos de cada clase simulada ponderada en función del tamaño de tales polígonos; ***** Índice que mide la conectividad física de los polígonos de cada clase. Posee valores más bajos cuanto más desconectados se encuentran entre sí los polígonos de una misma clase.

Tabla 2. Métricas de la ecología del paisaje aplicadas al conjunto de cambios simulados por cada modelo, tanto para la modelización para el total del área como para aquella aplicada a nivel municipal. Más información acerca de las métricas utilizadas y su formulación matemática puede encontrarse en el manual de ayuda de Fragstrats (McGarigal et al. 2015).

tipos de cambios en algunos casos, reduce el número de transiciones consideradas en el total del modelo. De este modo, al no sumarse todos los cambios identificados en el conjunto del área, resulta más difícil que los cambios medidos alcancen la magnitud necesaria como para que el modelo pueda obtener, a partir de ellos, un ratio de transición que aplicar a futuro, es decir, en ocasiones los cambios medidos son tan pequeños que el modelo no puede inferir de ellos una tasa de cambio que extrapolar a un horizonte futuro. El mayor o menor dinamismo del área de estudio y de las regiones que la componen sin duda determinará estas conclusiones y, por tanto, la influencia que la extensión del área modelada tenga en los escenarios simulados puede ser dependiente de la cantidad de cambios existentes en el ámbito analizado.

Anteriores estudios (Bhatti et al., 2015) han mostrado conclusiones similares respecto a la relación entre la extensión del área objeto de modelización y el número de transiciones consideradas por el modelo. No obstante, para el caso aquí analizado, hemos comprobado como tal efecto es dependiente también de la escala y UMC de la cartografía empleada. Aquellos mapas a mayor escala y con una menor UMC (SIOSE) permiten detectar un mayor número de cambios, lo que supone modelizar un mayor número de transiciones. No obstante, independientemente de la cartografía empleada y de su escala, la cantidad (ha) de cambios simulados experimenta un descenso drástico cuando el modelo se realiza a nivel de municipio: la cantidad de cambios simulados en el modelo por regiones en el caso de la cartografía SIOSE se corresponde con tan sólo el 24% de los cambios simulados por el modelo global, sin regiones, mientras que esta proporción es del 13% para el caso de la simulación realizada con mapas CORINE (Tabla 2).

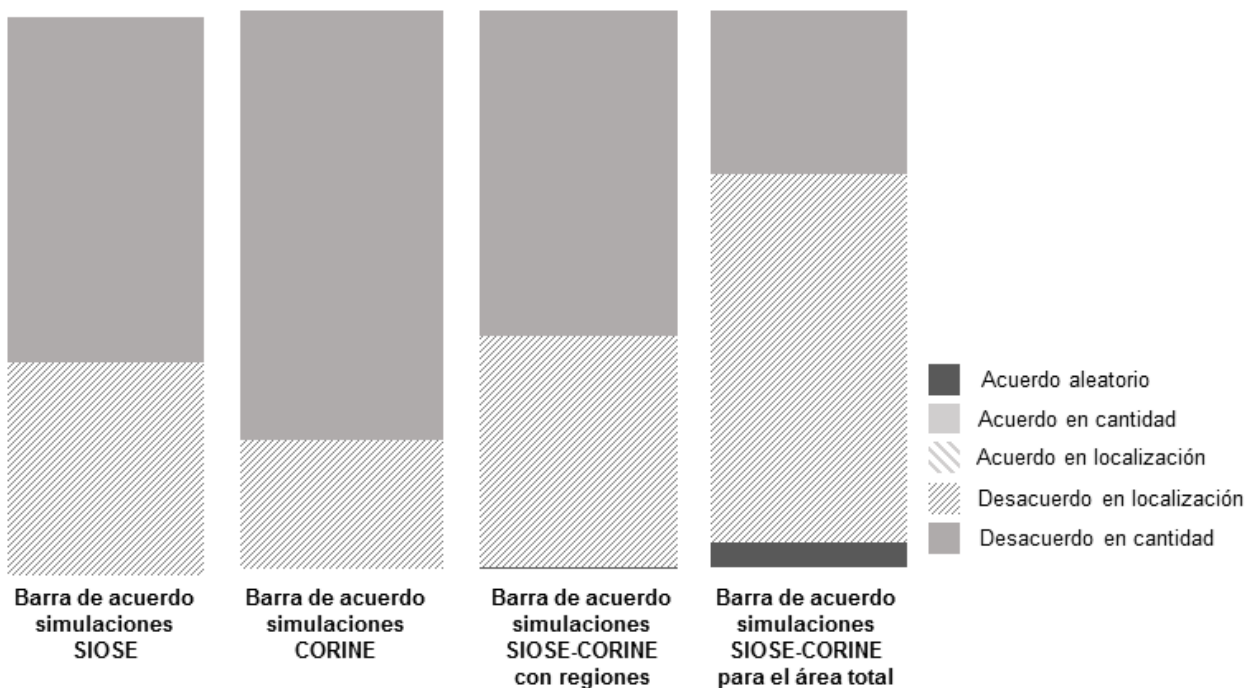


Figura 2. Barras de acuerdo resultado de la comparación de los escenarios obtenidos. Por un lado se compara para cada base de datos las dos simulaciones realizadas (para el total del área y a nivel de región) y, por otro, se compara para cada tipo de simulación (a nivel de región o para el conjunto del área de estudio) los resultados obtenidos a partir de las dos bases de datos utilizadas en el estudio.

Considerando lo anterior, la eficacia de Dinamica Ego y sus funciones *Expander* y *Patcher* queda bastante limitada cuando se reduce el tamaño del área a modelar y, sobre todo, cuando esta presenta pocos cambios. De esta manera, la cantidad de cambios a localizar es tan pequeña que los parámetros introducidos en el modelo en relación con el tamaño y varianza de los polígonos simulados tienen una escasa influencia en el escenario generado. A ello cabe añadir la propia restricción introducida por la transición a modelar. Solo aquellas áreas objeto de la transición pueden ser modeladas, con lo que si los polígonos de tal clase localizados bajo áreas de máxima idoneidad son pocos y de similares dimensiones, el modelo es incapaz de generar un patrón diferente al determinado por las propias circunstancias. Por tanto, los parámetros introducidos por el usuario tienen de nuevo poca significancia en el resultado final.

Por otro lado, la comparación de los diferentes escenarios obtenidos ha mostrado, tal y como se ha indicado anteriormente, un total desacuerdo entre ellos. No obstante, resulta curioso como el acuerdo es mayor cuando se comparan los escenarios obtenidos para cada una de las diferentes bases de datos en los modelos a nivel municipal y para el total del área que cuando se comparan los dos modelos realizados a partir de la misma base de datos.

El acuerdo en localización es en todos los casos mínimo o inexistente, si bien en las barras de acuerdo obtenidas (Fig. 2) la importancia del desacuerdo en localización es mayor o menor en función del desacuerdo alcanzado en cantidad. En relación con esta última variable, es en la comparación de los escenarios obtenidos en el modelo para el total del área en las dos cartografías utilizadas donde se alcanza el menor grado de desacuerdo en cantidad, es decir, donde las proporciones de los cambios simulados por ambos modelos son más similares. De hecho, se logra en tal comparación una mínima tasa de acuerdo que, sin embargo, por su escasa representatividad, se considera como aleatorio.

Teniendo en cuenta lo anterior y, valorando las restantes tres barras de acuerdo, que hacen referencia en todos los casos a simulaciones realizadas a nivel municipal (ya sea comparándolas con las del total del área de estudio para la misma base de datos o bien comparándose las simulaciones a nivel municipal de las distintas bases de datos), podemos decir que la disminución del tamaño del área modelada, al menos para el caso de nuestro área de estudio, introduce mayor incertidumbre en nuestro análisis, siendo mayores las diferencias con respecto al resto de resultados simulados.

En general, cuando más simple sea un modelo, mejores serán sus resultados (O'Sullivan y Perry, 2013; Clarke, 2004). Modelos diseñados para pequeñas áreas implican la comprensión de procesos de carácter más local y específico y, por ende, más complejos, lo que ha de resultar en una modelización más difícil (Lesschen et al., 2005; Verburg et al., 2003). En relación con ello, algunos autores han señalado la especificidad de los modelos en función de su área de estudio (Bhatti et al., 2015), no pudiendo extrapolarse los mismos a áreas de mayores o menores dimensiones en tanto cada modelo queda asociado a unas características (resolución espacial, temática, variables explicativas) que son específicas del área de estudio modelada (Ahmed y Bramley, 2015; Paegelow y Camacho, 2008; Overmars y Verburg, 2005).

Resultados adicionales a los mostrados en la presente comunicación y que permiten ahondar en el análisis de las simulaciones realizadas pueden ser encontrados en el material complementario asociado a esta comunicación (doi.org/10.6084/m9.figshare.3188389).

5. CONCLUSIONES

El análisis realizado ha mostrado la notable influencia que los dos conceptos de escala utilizados (escala cartográfica y su asociada UMC así como la extensión del área de estudio) tienen en la modelización LULC, así como la íntima relación que existe entre ambos conceptos. Modelos para ámbitos locales, al exigir más detalle y el estudio de procesos más complejos, funcionan mejor con cartografías de detalle. Éstas, sin embargo, incrementan la complejidad del modelo. En este sentido, recurrir a escalas de gran detalle, con mapas de elevada resolución, aplicados a ámbitos locales, puede resultar en modelos excesivamente complejos que, por tal condición, rompen con la propia ley fundamental de la modelización (cuanto más simple sea un modelo, mejor será éste) y, por ende, con su utilidad.

Las características del ámbito de estudio escogido, en especial en lo que respecta a su dinamismo, así como del modelo empleado, en este caso Dinamica EGO, han tenido también una importante influencia en los resultados alcanzados. Áreas con pocos cambios son más sensibles a la variación de los parámetros relacionados con la escala. Similar comportamiento se aprecia en modelos de transiciones frente a aquellos basados únicamente en áreas de idoneidad y autómatas celulares, como CA_Markov o Metronamica. En estos casos, todas las transiciones hacia la categoría simulada son posibles en todas las regiones de estudio, lo cual puede aportar más realismo para el caso de aquellos modelos que simulan dinámicas urbanas, en las cuales las transiciones no siempre tienen por qué ser las mismas. De este modo, una ciudad siempre va a extenderse en su entorno inmediato, independientemente de la cobertura que la rodee.

La escasa tasa de acuerdo lograda con el modelo utilizado, que puede calificarse de inexistente, abre también la puerta a la crítica sobre la propia viabilidad del modelo y su capacidad de reconocer y comprender las dinámicas del área de estudio analizada. La variación de sus parámetros, en búsqueda de una comprensión más certera del territorio modelizado y de sus dinámicas, así como la comparación de sus resultados con otros modelos como los arriba señalados han de ser, en este sentido, tareas preferentes que permitan entender el papel que las propias características del modelo han jugado en los resultados y conclusiones obtenidas.

Por tanto, futuras líneas de investigación han de pasar por aplicar análisis similares a diferentes áreas de estudio y con diferentes modelos. De igual forma, es necesario ahondar en una comprensión más profunda de los efectos que produce la escala en la modelización LULC, valorando otros elementos relacionados con la escala como la resolución temática.

6. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se enmarca en el proyecto MINECO I+D BIA2013-43462-P, titulado “SIMULACIONES GEOMÁTICAS PARA MODELIZAR DINÁMICAS AMBIENTALES II. Horizonte 2020” (SIGEOMOD_2020) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER. El primer autor agradece también al Ministerio de Economía y Competitividad y al Fondo Social Europeo por la financiación de su actividad investigadora (Ayudas para contratos predoctorales para la formación de doctores 2014).

7. BIBLIOGRAFÍA

(1991). Directrices Regionales de Ordenación del Territorio. Consejería de Medio Ambiente y Urbanismo. Principado de Asturias.

Ahmed, S. y Bramley, G. (2015): “How will Dhaka grow spatially in future?-Modelling its urban growth with a near-future planning scenario perspective”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4, 2, pp. 359-377.

Bhatti, S. S., Tripathi, N. K., Nitivattananon, V., Rana, I. A. y Mozumder, C. (2015): A multi-scale modeling approach for simulating urbanization in a metropolitan region, *Habitat International*, 50, pp. 354–365.

Camacho, M. T., Paegelow, M. y García-Álvarez, D. (2015): “Mapas de potencial de transición versus mapas de aptitud para modelar el cambio de usos y coberturas del suelo”, en de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R. y Rodrigues, M. (Ed.): *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Universidad de Zaragoza-AGE, pp. 541–550.

Castilla, G., Larkin, K., Linke, J. y Hay, G. J. (2009): “The impact of thematic resolution on the patch-mosaic model of natural landscapes”, *Landscape Ecology*, 24, 1, pp. 15–23.

Clarke, K. C. (2004): “The limits of simplicity: toward geocomputational honesty in urban modelling”, en Atkinson, P., Foody, G., Darby, S. y Wu, F. (Ed.): *Geodynamics*. CRC Press, pp. 215–232.

Equipo Técnico Nacional SIOSE (2015): *Metodología de actualización SIOSE*. Instituto Geográfico Nacional.

European Environment Agency (2007): *CLC2006 technical guidelines*.

Fernández, A., Ortega, M., Sevilla, J., González, J. R. y Álvarez-Cienfuegos, J. (2007). *Población, administración y territorio en Asturias*. Consejo Económico y Social del Principado de Asturias.

García-Álvarez, D. (2016): “Scale influence in LULCC modelling. A comparison between two different LULC maps (SIOSE and CORINE)”, en Camacho, M. T., Paegelow, M., Mas, J. F. y Escobar, F. (Ed.): *Geomatic simulations and scenarios for modelling LUCC. A review and comparison of modelling techniques*. En prensa.

Hengl, T. (2006): “Finding the right pixel size”, *Computers and Geosciences*, 32, 9, pp. 1283–1298.

- Houet, T., Verburg, P. H. y Loveland, T. R. (2010): "Monitoring and modelling landscape dynamics", *Landscape Ecology*, 25, 2, pp. 163–167.
- Lam, N. y Quattrochi, D. (1992): "On the Issues of Scale, Resolution, and Fractal Analysis in the Mapping Sciences", *The Professional Geographer*, 44, 1, pp. 88–98.
- Lesschen, J. P., Verburg, P. H., y Staal, S. J. (2005). "Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems", *LUCC Report Series*, 7, 81p.
- Lloyd, C. D. (2014). *Exploring Spatial Scale in Geography*. John Wiley & Sons.
- Mas, J., Kolb, M., Houet, T., Paegelow, M. y Camacho, M. T. (2011): "Éclairer le choix des outils de simulation des changements des modes d'occupation et d'usages des sols Une approche comparative", *Revue Internationale de Géomatique*, 21, 3, pp. 405–430.
- McGarigal, K, Cushman, S., Neel, M. C. y Ene, E. (2015): *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. University of Massachusetts.
- Meentemeyer, V. (1989): "Geographical perspectives of space, time, and scale", *Landscape Ecology*, 3, 3-4, pp. 163–173.
- Ménard, A. y Marceau, D. J. (2005): "Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32, 5, pp. 693–714.
- Obeso, I. (2014): "Análisis geográfico de los desahucios en España", *Ería*, 95, pp. 327-342.
- O'Sullivan, D. y Perry, G. L. W. (2013). *Spatial Simulation: Exploring Pattern and Process*. John Wiley & Sons.
- Overmars, K. P. y Verburg, P. H. (2005): "Analysis of land use drivers at the watershed and household level: Linking two paradigms at the Philippine forest fringe", *International Journal of Geographical Information Science*, 19, 2, pp. 125–152.
- Paegelow, M. y Camacho, M. T. (2008): "Advances in geomatic simulations for environmental dynamics", en Paegelow, M. y Camacho, M. T. (Ed.): *Modelling Environmental Dynamics*. Springer, pp. 3–54.
- Pérez-Vega, A., Mas, J.-F. y Ligmann-Zielinska, A. (2012): "Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest", *Environmental Modelling & Software*, 29, 1, pp. 11–23.
- Pontius Jr, R. G. y Millones, M. (2011): "Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment", *International Journal of Remote Sensing*, 32, 15, pp. 4407–4429.
- Quattrochi, D. A., y Goodchild, M. (Ed.) (1997): *Scale in remote sensing and GIS*. CRC Press.
- Rodríguez Gutiérrez, F. (2009): *El área metropolitana de Asturias*. Trea.
- Soares, B. S., Cerqueira, G. C. y Pennachin, C. L. (2002): "DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier", *Ecological Modelling*, 154, 3, pp. 217–235.
- Verburg, P. H., De Groot, W. T. y Veldkamp, A. J. (2003): "Methodology for multi-scale land-use change modelling: Concepts and challenges" en Dolman, A. J., Verhagen, A. y Rovers, C. (Ed.): *Global environmental change and land use*. Springer, pp 17–51.
- Wu, J. (2004): "Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations", *Landscape Ecology*, 19, 2, pp. 125–138.