

Estudios Geográficos
Vol. LXXIII, 272, pp. 7-34
Enero-junio 2012
ISSN: 0014-1496
eISSN: 1988-8546
doi: 10.3989/estgeogr.201201

Detección de errores temáticos en el CORINE Land Cover a través del estudio de cambios: Comunidad de Madrid (2000-2006)¹

Thematic error detection in the CORINE Land Cover through the study of changes: Community of Madrid (2000-2006)

Pablo Barreira González*, Victoria González Cascón**
y Joaquín Bosque Sendra***

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los mapas de usos y coberturas del suelo han sido a lo largo de la historia uno de los puntos más recurrentes en cartografía temática. A partir de este tipo de mapas se pueden realizar comparaciones temporales de los mismos para entender los fenómenos dinámicos y estables que se producen sobre la superficie terrestre. En los últimos años el interés por el análisis de los cambios de uso y cobertura del suelo ha ido en aumento, puesto que, con estos estudios se puede favorecer la adopción de políticas de actuación más eficaces

¹ Trabajo financiado por el proyecto SIMURBAN del Ministerio de Educación y Ciencia (MEC España) a través de la convocatoria de 2006 de proyectos del Plan nacional de Investigación científica, Desarrollo e Innovación 2004-2007, Programa nacional de Ciencias Sociales, Económicas y Jurídicas (Referencia SEJ2007-66608-C04-00/ GEOG).

* Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá (pablobarreiragonzalez@hotmail.com).

** Unidad de Sistemas de Información Geográfica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (victoria.gonzalez@cchs.csic.es).

*** Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá (joaquin.bosque@uah.es).

en busca de un correcto aprovechamiento de los recursos naturales y humanos y en definitiva, de un desarrollo sostenible.

La cartografía de cambios de los usos / cobertura del suelo puede generarse de varias formas:

- Por intersección de dos mapas de una zona de forma directa —siendo resoluciones, coordenadas y leyenda de ambos comparables— mostrando y caracterizando las zonas que permanecen estables en el tiempo y las que han cambiado de un uso a otro.
- Por cartografía directa, es decir, tomando como referencia una cartografía temática de la fecha inicial, imágenes de satélite u ortofotos de la fecha inicial y de la fecha posterior se puede generar la cartografía de cambios mediante la comparación de dichas imágenes y la posterior digitalización de los polígonos que suponen cambio de uso entre dichas fechas.

El primer método es el más automático y rápido, y en la mayoría de los casos es el indicado siempre que las cartografías sean de gran calidad temática. Si se estudian estas variaciones temporales en los usos del suelo a través de una cartografía de cambios (Catalá *et al.*, 2008) podremos obtener qué clases, usos o coberturas del suelo presentan mayor pérdida o ganancia superficial, pero lo más importante es que al generar esta cartografía aparecen en multitud de ocasiones cambios que huyen de una explicación lógica o de la dinámica habitual que puede producirse en un territorio.

Estos cambios extraños suelen ir unidos a un error de asignación temática en una de las dos cartografías utilizadas, bien por una mala asignación de los códigos de leyenda a los polígonos de cobertura del suelo, por una mala fotointerpretación en la generación de las cartografías o bien por una falta de criterio homogéneo a la hora de decidir qué categoría se asigna a un polígono en cuestión. Vinculados a estas posibilidades también se encuentran los errores de apreciación que pueden tener los fotointérpretes derivados de la escala y la densidad de la leyenda.

En esta línea hemos desarrollado una metodología sencilla apoyada en la planteada por Catalá *et al.* (2008), y extrapolable a otro tipo de cartografías que no sean sólo de usos del suelo, para la detección de errores temáticos a través del estudio de cambios entre dos fechas. En este caso particular se empleará la cartografía europea de usos del suelo CORINE Land Cover (CLC), para los años 2000 y 2006, para mostrar los resultados que se pueden obtener con la metodología en la Comunidad de Madrid (CM en adelante). Este trabajo además ahonda en los tipos de cambio no estudiados por los citados au-

tores, incluyendo a su vez el estudio de cambios de tipo 1 —considerados razonables y posibles— y superficies estables —descritos en el epígrafe de metodología—, los cuales como veremos más adelante también pueden ser susceptibles de error de asignación cartográfica. A diferencia de Catalá y otros el periodo de estudio es 2000-2006.

La importancia que tiene la cartografía de los usos del suelo reside en la posibilidad de poder tomar innumerables decisiones que condicionan el futuro del entorno, tanto a nivel urbano como rural. Es por esto por lo que la calidad de los datos de partida para la toma de dichas decisiones debe ser óptima, puesto que conforme mejoramos los datos de partida nuestros resultados podrán llegar a ser de mejor calidad. Esto debería ser una constante en la totalidad de trabajos científicos, puesto que en muchas ocasiones se pretende obtener resultados de calidad cuando la fuente de datos es bastante deficiente en cuanto a exactitud temática.

La mejora de la calidad temática de la cartografía pasa por una detección de errores de asignación temática en la misma. Esta detección se puede realizar a través de la cartografía de cambios y la consecuente detección de cambios anómalos, así como la comprobación de la veracidad que puedan tener los cambios considerados como normales y, a su vez cómo no, las zonas que permanecen estables.

Pero aprovechando la situación, no sólo se centrará el estudio en la detección de los errores, sino que también se procederá a una propuesta de correcciones para que esta cartografía pueda ser mejorada por sus productores y a la vez aumente su calidad temática.

En resumen, el estudio englobará cuatro bloques de trabajo:

1. Desarrollo de la metodología que permita la detección de errores de asignación temática en cartografía de usos del suelo, de tal forma que sea fácil de aplicar y a la vez extrapolable a otras cartografías.
2. Aplicación de la misma a la cartografía CORINE Land Cover en las versiones del 2000 y del 2006 en la CM para la detección de errores temáticos así como la proposición correspondiente de corrección de los mismos.
3. Comparación del estudio con el realizado por Catalá *et al.* (2008).
4. Valoración de la calidad, a partir de los resultados, de la cartografía empleada.

En cuanto a la zona de estudio, la Comunidad de Madrid se encuentra en el centro de la Península Ibérica (figura 1), siendo colindante a las Comunidades Autónomas de Castilla-La Mancha —provincias de Guadalajara, Cuenca y Toledo— y Castilla y León —Ávila y Segovia—. Su población es 6,4 millones

FIGURA 1
SITUACIÓN DE LA ZONA DE ANÁLISIS (COMUNIDAD DE MADRID)



Fuente: elaboración propia.

de habitantes (INE, 2010), la cual se concentra en el área metropolitana de Madrid —capital de España—. Cuenta con un total de 179 municipios distribuidos a lo largo de los 8.025 km² de superficie total de la Comunidad. De ellos nueve superan los 100.000 habitantes en 2010.

Desde el punto de vista de los fenómenos de cambios de uso del suelo, el crecimiento poblacional ha sido una constante en las últimas décadas, debido sobre todo al contexto económico positivo en la década de los 90 y principios del milenio, incentivado por un comportamiento favorable de las actividades productivas, entre las que podemos destacar la revitalización del mercado de la vivienda (Catalá *et al.*, 2008).

Uno de los factores de crecimiento de superficie artificial —ocupada por el hombre tanto para vivienda como para comercio, industria o infraestructuras— que se debe de vigilar a la hora de entender los fenómenos que ocurren entre 2000 y 2006, es la necesidad de situar nuevos núcleos industriales y comerciales, que como se puede apreciar es de forma dispersa y fragmentada, tendiendo a estar estas nuevas zonas próximas a las vías de comunicación para favorecer el transporte (Gutiérrez, 2004).

En el estudio de Plata *et al.* (2008) se concluye que el principal crecimiento de las zonas artificiales entre 1990 y 2000 fueron zonas industriales y comerciales, zonas en construcción, urbanizaciones exentas y estructura urbana laxa —según la leyenda CORINE Land Cover—. En el caso que nos atañe, un estudio preliminar de los dos mapas de usos del suelo utilizados para el estudio de la CM revela que esta dinámica también se sucede a lo largo del periodo estudiado en el presente documento. Debemos destacar también la gran cantidad de pérdida de superficie de cultivo en las dos últimas décadas así como de superficie natural de pastizal. Ambos procesos —disminución de superficie natural y vegetal, y aumento de la superficie artificial— denotan un claro proceso de urbanización dentro de la CM.

Dadas las cifras implicadas seguramente podemos considerar que, aún estando los mapas que se utilicen sujetos a errores, éstos no son tan significativos como para influir en esta visión general de los cambios entre el 2000 y el 2006. Aún así, no supone que los errores temáticos puedan ser de alguna forma obviados. Todo lo contrario, si de ellos se van a derivar otro tipo de trabajos, se deberán tener en cuenta.

El CORINE Land Cover: una breve descripción del proyecto

El proyecto CORINE Land Cover se fraguó en el seno del programa CORINE (Coordination of Information of the Environment) a partir del 27 de junio de 1985, fruto de una decisión del Consejo de Ministros de la Unión Europea (CLC, Ministerio de Fomento). A partir de 1995 pasaría a ser responsabilidad de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA, EEA en inglés). Los objetivos de este programa pueden agruparse, principalmente, en tres bloques:

- Compilar información del estado del medio ambiente en relación a los temas de especial interés de los Estados miembros.
- Coordinar la compilación de los datos así como la organización de la información entre países.

- Asegurar que la información sea coherente y que los datos sean compatibles.

Dentro de este programa, surge la necesidad de investigar en profundidad el estado de la ocupación del suelo en el territorio europeo a través del proyecto CORINE Land Cover (CLC en adelante), el cual, pretende la creación y la actualización de una base de datos a escala 1:100.000 sobre ocupación del suelo en toda Europa. Esta base de datos se consigue a través de fotointerpretación de imágenes multiespectrales. Además, pretende servir de referencia a través de sus componentes georreferenciadas a otras partes del programa global CORINE.

Otra de las razones por las cuales surge este proyecto es la imposibilidad de comparar mapas de usos del suelo entre países de forma directa, debido a la heterogeneidad con la que se trata este tema en cada país. De manera que con esta cartografía lo que se consigue es obtener una idea globalizada de los usos del suelo en Europa. A su vez, supone una herramienta estadística de vital importancia en la toma de decisiones de medioambiente e inventariado de recursos. Como hemos mencionado con anterioridad, actualmente la gestión del proyecto es llevada a cabo por la Agencia Europea de Medio Ambiente, que a su vez tiene vínculos con otras instituciones para garantizar el correcto funcionamiento del mismo.

En la actualidad existen tres versiones de dicha cartografía como son el CLC1990, CLC2000 y CLC2006 —CORINE Land Cover en versión de 1990, 2000 y 2006 respectivamente—, estos dos últimos llevan asociados también el proyecto IMAGE que se centra en obtener imágenes de satélite de las zonas del CLC para poder hacer comprobaciones de la correcta asignación temática de los mismos y, a su vez, desarrollar el CLC2000, en su momento, y el CLC2006, de manera adecuada. En nuestro caso partiremos de la cartografía CLC para los años 2000 y 2006.

La nomenclatura para los mapas de ocupación del suelo se estableció de acuerdo a la leyenda de 44 clases CLC —desglose de la leyenda hasta el tercer nivel de detalle, tabla 1—. Dentro de lo que serían los puntos de partida del estudio a realizar, conviene saber que desde la producción del CORINE Land Cover se nos indica que la exactitud temática de la cartografía alcanza entorno al 85% y que la precisión geométrica está por debajo de los 100 m. No se representan polígonos de superficie inferior a 25 ha.

Aun existiendo diferentes procesos de verificación y de validación de la cartografía en el proceso de producción del CLC, la cartografía está sujeta errores de asignación temática, lo que provocaría fallos de gran envergadura

TABLA 1
LEYENDA CLC AL NIVEL 3 PARA LA COMUNIDAD DE MADRID EN
LAS VERSIONES DEL 2000 Y DEL 2006

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
1. Superficies Artificiales	1.1. Zonas Urbanas	1.1.1. Tejido urbano continuo
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo
	1.2. Zonas industriales, comerciales y de transportes	1.2.1. Zonas industriales o comerciales
		1.2.2. Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados
		1.2.4. Aeropuertos
	1.3. Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	1.3.1. Zonas de extracción minera
		1.3.2. Escombreras y vertederos
		1.3.3. Zonas en construcción
	1.4. Zonas verdes artificiales, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas
		1.4.2. Instalaciones deportivas y recreativas
2. Zonas Agrícolas	2.1. Tierras de labor	2.1.1. Tierras de labor en secano
		2.1.2. Terrenos regados permanentemente
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Viñedos
		2.2.2. Frutales
		2.2.3. Olivares
	2.3. Praderas	2.3.1. Prados y Praderas
	2.4. Zonas agrícolas heterogéneas	2.4.2. Mosaico de cultivos
		2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural
		2.4.4. Sistemas agroforestales
3. Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos	3.1. Bosques	3.1.1. Bosques de frondosas
		3.1.2. Bosques de coníferas
		3.1.3. Bosque mixto
	3.2. Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea	3.2.1. Pastizales naturales
		3.2.3. Matorral esclerófilo
		3.2.4. Matorral boscoso de transición
	3.3. Espacios abiertos con poca o sin vegetación	3.3.2. Roquedo
		3.3.3. Espacios con vegetación escasa
		3.3.4. Zonas quemadas
4. Zonas húmedas	4.1. Zonas húmedas continentales	4.1.1. Humedales y zonas pantanosas
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Cursos de agua
		5.1.2. Láminas de agua

Fuente: elaboración propia a partir de leyenda de la EEA (European Environment Agency).

en la elaboración de inventario de recursos, toma de decisiones, catalogación de territorios y en definitiva cualquier trabajo derivado de la cartografía mencionada. De hecho, nunca se alcanzará el 100% de exactitud en la clasificación temática de una zona debido a la imposibilidad de representar completamente la realidad, puesto que un mapa no es más que una simplificación de la misma, impidiendo de esta forma su perfecta reproducción. Por ello es necesario buscar siempre la mejor calidad posible y más próxima al 100% de exactitud.

METODOLOGÍA

El presente documento pretende utilizar las ideas expuestas por Catalá *et al.* (2008) para la detección de errores temáticos en datos sobre de usos / cobertura del suelo, a través de la cartografía de cambios en el periodo 2000-2006 en la CM. Pero consideramos importante revisar —antes de detallar la metodología que se va a aplicar— cómo se ha tratado la comparación de mapas de usos del suelo a lo largo de los últimos años.

El estudio de cambios de usos del suelo es un punto fundamental para entender los procesos que ocurren en un territorio así como para comprobar si un entorno avanza hacia un desarrollo sostenible (Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2007). En primer lugar un punto fundamental donde se suelen comparar mapas de usos del suelo, es en la aplicación de métodos de clasificación de imágenes. Esta comparación se realiza para determinar el grado de exactitud que tiene una clasificación determinada, es decir, su grado de representación de la realidad. El elemento utilizado para verificar dicha exactitud no es otro que la matriz de confusión, utilizada en multitud de trabajos y procesos de validación de cartografía. La matriz propone una forma de entender cómo se distribuyen los píxeles entre el mapa que representa fielmente la realidad y el resultante de la clasificación de una imagen, de tal forma que, podremos ver en la diagonal principal de la misma los elementos que están clasificados de forma correcta y fuera de ella los errores que se cometen en la clasificación.

Según esta matriz se pueden obtener diferentes parámetros que estiman la exactitud de la clasificación: en primer lugar la exactitud global que se refiere al porcentaje de píxeles clasificados de forma correcta, en segundo término la exactitud del productor que señala la probabilidad de que un píxel de una clase «i» esté correctamente clasificado, y por último la exactitud del usuario que indica la probabilidad de que un píxel clasificado como perteneciente a la clase «i» pertenezca realmente a dicha clase. Estos dos últimos parámetros

está directamente relacionados con los conocidos errores de «omisión» y de «comisión» (Nicoló *et al.*, 2009).

Otro método de relevante interés en el cual se aplican comparaciones de mapas de usos del suelo, es el aplicado por Mas y Fernández (2003) por ejemplo, donde se busca estudiar la realidad de los cambios de usos del suelo cuando se comparan cartografías de distintas escalas o de distintas fechas y diferentes sistemas de interpretación. Este método se basa principalmente en ponderar cada cambio por la superficie de ese uso en concreto en cada hoja del mapa, lo que lo hace verdaderamente complejo para estudios cuyo objetivo no es valorar las cartografías de uso del suelo sino utilizarlas como fuente para un modelo posterior. Demostraron que los errores inherentes a la diferencia de escala o a la captura en la cartografía en formato digital generaron falsos cambios de una amplitud comparable o superior a los cambios reales (Mas y Fernández, 2003).

Por otro lado nos encontramos con el trabajo realizado por Bach *et al.* (2006), en el que se comparan tres cartografías digitales de la misma zona de distintas fuentes, con el interés de comprobar exhaustivamente pequeñas áreas, en concreto, comparando las superficies de cada uso con las bases de datos declaradas en el catastro alemán, en vez de analizar puntos elegidos de forma aleatoria. De hecho en el documento escogen dos zonas para su estudio, el principal problema que plantea el método es que detectan que los resultados no se pueden extrapolar a zonas más amplias del territorio estudiado.

Dentro del marco del CORINE Land Cover, Siedentop y Meinel (2004) realizan un estudio a cerca de la calidad temática del CLC2000 en comparación con otro tipo de cartografías. Además es interesante cómo la clasificación de los errores la realizan en términos técnicos: errores debidos a una incorrecta asignación temática, errores de delimitación, de digitalización o de generalización. Como veremos más adelante la clasificación empleada en nuestro trabajo se enfoca más a la detección de errores temáticos basándonos en el uso de ortofotografía aérea.

Por su parte, Pontius y Lippit (2006), plantean una metodología desglosada en tres bloques a la hora de comparar cartografías de usos del suelo. En primer lugar, se establece cuándo un error puede explicar un cambio de uso entre dos mapas, en segundo término se representan los cambios en mapas de forma visual y tercero, se explica cómo los resultados pueden ser sensibles a una pequeña variación en el error del mapa.

Otro trabajo (Pontius *et al.*, 2004) señala las grandes posibilidades que ofrece la matriz de cruce para entender cómo ha cambiado un territorio entre

dos fechas a partir de la misma y a su vez poder detectar errores temáticos en las cartografías empleadas

Es por esto por lo que se partirá de la matriz de cruce con el fin de realizar el estudio para la detección de errores temáticos. En nuestro caso la matriz de cruce se refiere a los cambios de uso del suelo entre el año 2000 y el 2006 en la Comunidad de Madrid. A partir de la matriz se detectarán los diferentes tipos de cambio que se producen, utilizando las directrices propuestas por la Agencia Europea de Medio Ambiente. Dichas directrices establecen una matriz que nos indica la complejidad que presenta cada cambio de uso del suelo entre dos fechas, es decir, nos valora de 0 a 3 la habitualidad del cambio. Estos valores indican lo siguiente:

- Valor 0 o Zonas estables: son aquellas que no cambian de asignación temática entre las dos fechas, es decir, son zonas que permanecen estables.
- Valor 1 o Cambios normales: que pueden ser esperados fruto de la dinámica espacio temporal del suelo.
- Valor 2 o Cambios poco habituales: son aquellos que deben llevar asociada una explicación debido a que suelen ocurrir pero no con alta frecuencia.
- Valor 3 o Cambios incongruentes: que se escapan de la dinámica lógica. Se suele partir de que en estos casos siempre hay un fallo de asignación temática en una de las dos fechas o se busca una razón poderosa para poder entenderlos.

Llegados a este punto, la metodología en rasgos generales sería la siguiente:

1. Obtención de la matriz de cruce completa.
2. Establecer las bases del estudio, definir qué cambios interesan investigar.
3. No se consideran los polígonos de menor superficie que la mínima a representar —en la cartografía de cambios CLC no se representan polígonos menores de 5 ha—.
4. Aislar los polígonos de cambio que se deseen estudiar y vectorizarlos.
5. Montaje del polígono sobre imágenes aéreas o satelitales en fechas próximas a las de la cartografía utilizada —en nuestro ejemplo, próximas al 2000 y al 2006—.
6. Estudio de la situación y catalogación de la misma dentro de una categoría acorde a lo que está ocurriendo (tabla 2).

TABLA 2
TERMINOLOGÍA A APLICAR EN LOS POLÍGONOS ESTUDIADOS

Categoría	Descripción
Bien Cartografiado:	No existe error en ninguna de las cartografías, entendiendo existe la correcta asignación temática.
Error en CLC2000:	En este caso se encuentra un error temático claro en el CORINE Land Cover del año 2000, debiendo establecer una propuesta de cambio temático para este año.
Error en CLC2006:	Existe un error temático en el CLC del año 2006 y como consecuencia se deberá hacer una propuesta de cambio de asignación temática para el polígono en cuestión.
Fallo Técnico:	A este tipo de desajustes se refieren principalmente incoherencias como por ejemplo, ausencia de criterio en la delimitación de los polígonos. Este problema suele manifestarse porque los límites de las superficies no son exactamente los mismos en ambos años debido a que los fotointérpretes varían y entonces al hacer la cartografía de cambios nos encontramos con estos pequeños fallos. También se incluyen dentro de esta categoría polígonos en los cuales el operador o fotointérprete no puede tener capacidad suficiente de apreciación a la hora de asignar una clase determinada a un polígono, debido al tamaño de éste o por la escala a la cual se trabaja. A su vez incluimos aquí algunos casos extraños que ocurren en zonas de láminas de agua como embalses. Se pueden hacer aquí propuestas de cambio.
Sin Conclusiones:	Por la mala visibilidad o la dificultad de apreciación en algunos casos no es posible obtener conclusiones.

En una de estas cinco situaciones deberá encajar cada caso.

Fuente: elaboración propia.

7. Realización de una ficha completa que describa la situación concreta — polígonos que intervienen en ambos años, tipo de cambio que ocurre, catalogación de la situación, imágenes en fechas próximas a las cartografías, etc. —.

Para la identificación de las coberturas existentes en el terreno en fechas próximas a las del CLC00 y CLC06 se acudirá a servidores *online* donde se pueden localizar imágenes georreferenciadas, tanto ortofotos como cartografía oficial e incluso planos catastrales. Los visores de imágenes utilizados han sido el «Visor Urbanístico GeoMadrid» (<http://bdp.geomadrid.com/visorbdp/visorprueba.html>) así como el «Nomenclátor Oficial y Callejero de la Comunidad de Madrid» (<http://www.madrid.org/nomecalles/>) y el «Sistema de Información Geográfica de la Política Agraria Común» (SIGPAC). En ambos casos se han seleccionado imágenes aéreas de 1999 y 2001 para verificar la cartografía CLC00 e imágenes de 2006 para verificar el CLC06.

En cuanto a la leyenda de coberturas del suelo que presenta la cartografía utilizada, será la leyenda CLC desglosada al tercer nivel de detalle (tabla 1), la cual engloba un total de 44 clases, aunque en la zona de estudio (CM) solamente quedan reflejadas 31 de las 44 totales.

Por último, otro de los elementos que se han necesitado para la correcta detección de errores y con el fin de establecer una jerarquía entre todos los tipos de cambio de uso que se dan en el terreno es la matriz de tipología de cambios propuesta por la EEA (European Environment Agency). La matriz mencionada es la que aparece reflejada en la tabla 3, de tal forma que se identifica cada modalidad de cambio con un valor de 0 a 3, estos números significan el tipo de situación expresado más arriba.

Una vez descrita la metodología propuesta por el presente texto para detectar errores de clasificación en cartografía temática se aplicará al área de estudio de la CM. Para realizar el cruce de mapas de usos del suelo —cuya representación raster tiene una resolución de 50 m— se ha acudido al módulo LCM (*Land Change Modeler*) del software Idrisi Andes, el cual proporcionará la imagen que reflejará los diferentes cambios que se dan en el territorio estudiado y la correspondiente matriz de cruce. El cruce de mapas contiene como fecha inicial el *ráster* CLC de la CM para el año 2000 y el del año 2006 para fecha posterior. Se ha clasificado cada cambio en función de su tipología (tabla 3), y podremos apreciarlo en la figura 2.

Bien es cierto que existen algunos problemas de comparabilidad entre el CLC00 y el CLC06. En el caso de la cartografía del año 2000, en España se incluían polígonos de suelo urbano menores a las 25 ha —tamaño mínimo cartografiable— que posteriormente en el 2006 no se recogen. Además también ocurre lo mismo en el caso de infraestructuras de comunicación como algunas carreteras que no quedan reflejadas en la cartografía del 2006. Estos errores no han sido contemplados en este estudio ya que se considera que no son errores de asignación temática sino cuestiones de generalización cartográfica.

TABLA 3

MATRIZ DE TIPOLOGÍA DE CAMBIOS ENTRE LOS MAPAS DE COBERTURAS DEL SUELO CLC00 Y CLC06 PARA LA CM

	111	112	121	122	124	131	132	133	141	142	211	212	221	222	223	231	242	243	244	311	312	313	321	322	323	324	331	332	333	341	411	511	512	
111	0	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	111	
112	1	0	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	112	
121	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	121	
122	2	1	1	0	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	122	
124	2	1	1	1	0	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	124	
131	2	1	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	131	
132	2	1	1	1	2	3	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	132	
133	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	133	
141	1	1	1	1	2	3	2	1	0	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	141	
142	1	1	1	1	2	2	2	1	2	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	142	
211	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	3	3	3	3	3	2	211	
212	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	212	
221	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	221	
222	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	2	222	
223	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	223	
231	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	2	231	
242	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	2	2	242	
243	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	2	2	243	
244	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	3	2	1	3	2	3	2	2	244	
311	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	2	311	
312	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	312	
313	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	3	1	3	2	1	3	2	1	2	313	
321	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0	3	1	1	2	3	1	2	3	2	321	
322	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	3	2	1	2	322	
323	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	0	2	1	1	1	2	1	2	323	
324	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	2	2	0	1	3	3	3	3	3	3	324	
331	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	0	2	3	2	1	2	331	
332	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	0	3	2	1	3	332	
411	3	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	3	1	3	2	3	0	2	1	411		
511	3	2	2	2	2	1	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	3	2	0	1	511	
512	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	3	1	2	0	512
	111	112	121	122	124	131	132	133	141	142	211	212	221	222	223	231	242	243	244	311	312	313	321	322	323	324	331	332	333	341	411	511	512	

Las filas indican los usos para el CLC00 y las columnas los usos para CLC06. Los números de tres cifras de los márgenes se corresponden con el nivel 3 de la leyenda (tabla 1).

Fuente: elaboración propia.

Además de la imagen que refleja los tipos de cambios que se dan entre el año 2000 y el 2006, LCM ha generado a su vez la matriz de cruce entre ambos mapas, donde se nos refleja la superficie de cambio para cada clase. Como veremos en el apartado de resultados, se pueden sacar varias conclusiones preliminares al estudio de errores acerca de la naturaleza de la zona de estudio, viendo qué clases temáticas pierden o ganan representación superficial en el transcurso de los 6 años indicados.

Llegados a este punto es el momento de decidir cómo abordar la búsqueda y la detección de errores. En primer lugar y por orden de prioridad, se estudiarán los polígonos de cambio de tipo 3, puesto que éstos se consideran cambios que ocurren fruto de un error en la asignación temática en una de las cartografías de las dos fechas que intervienen en el proceso. Se estudiarán en su totalidad debido al bajo número existente. En segundo lugar, se valorarán también los cambios de tipo 2, a través de un muestreo aleatorio y, además, los

FIGURA 2

POLÍGONOS DE CAMBIO DE USO/OCUPACIÓN DEL SUELO EN LA CM 2000-2006



Los tipo 3 son muy poco visibles.

Fuente: elaboración propia.

de mayor superficie para verificar que los errores afectan tanto a grandes polígonos como a pequeños. En tercer punto se estudiarán los polígonos de tipo 1 de igual forma que se estudiaron los de tipo 2. Puesto que este tipo de cambios son los considerados habituales y que entran dentro de la lógica que puede producirse en el territorio, se pretende demostrar que en los cambios habituales también pueden existir errores de asignación temática.

Por último, y siguiendo esta línea de investigación, es altamente recomendable aparte de estudiar los errores a partir de los cambios de uso, comprobar si las zonas estables también pueden ser susceptibles de error. Por ello, también se estudiarán los polígonos de tipo 0 o estables a través también de un muestreo aleatorio, aunque de menor tasa de sondeo.

El procedimiento a seguir a la hora de estudiar los polígonos correspondientes a cada tipo de cambio relatado en los párrafos anteriores es el mismo en todos los bloques del estudio:

1. Eliminación de los polígonos menores de 5 ha —no deben representarse en la cartografía de cambios polígonos de menor tamaño al citado, EEA—.
2. Aislar cada polígono de estudio y proceder a su vectorización.
3. Búsqueda de imágenes próximas a las fechas de 2000 y 2006 en el Nomenclátor Oficial y Callejero de la CM, en el Visor Urbanístico GeoMadrid o en el SIGPAC.
4. Montaje del polígono en cuestión sobre las imágenes.
5. Estudio de la situación y catalogación de la misma dentro de una de las categorías establecidas (tabla 2).

Evidentemente la situación de cada polígono no es la misma en todos los casos, puesto que unas veces el mismo estará bien clasificado en ambas fechas, otras existirán errores en alguna de ellas, etc. Para ello se ha creado una terminología para referirse a cada situación en concreto quedando ésta reflejada en la tabla 2, de tal forma que siempre se asignará una de estas etiquetas a cada polígono estudiado.

RESULTADOS

Una vez realizado el cruce de mapas se dispondrá de la matriz que muestra cómo se distribuye la superficie entre las clases de las dos fechas que intervienen en el estudio. De la propia matriz se pueden obtener los siguientes datos:

De un total de 802.568,167 ha que posee la CM, hubo 53.561,592 ha que han cambiado de asignación temática entre los años 2000 y el 2006, es decir, el 6,67% de la superficie total de la Comunidad Autónoma ha cambiado de uso o cobertura del suelo, de las cuales:

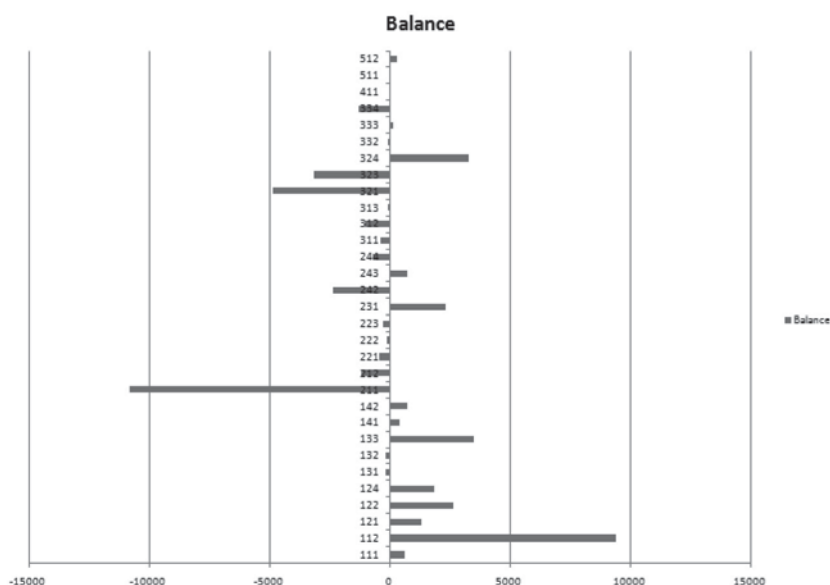
- Cambios de tipo 1 o normales: 46.172,528 ha (5,75% de la superficie total de la CAM, 86,2% del total del cambio).

- Cambios de tipo 2 o poco habituales: 6.283,179 ha (0,78% de la superficie total de la CAM, 11,7% del total del cambio).
- Cambios de tipo 3 o incongruentes: 1.105,885 ha (0,14% de la superficie total de la CAM, 2,1% del total del cambio).

Fruto del estudio multitemporal se puede apreciar qué ha pasado en cada clase temática, obteniendo derivado de la misma las ganancias y pérdidas, así como el balance, es decir, la diferencia entre ganancias y pérdidas, que podemos ver reflejada en la figura 3.

Los resultados del balance son bastante claros. Las clases que ganan superficie son principalmente urbanas, demostrando así que los núcleos urbanos e industriales de la Comunidad de Madrid no cesan de crecer, y que estamos ante un fenómeno de ocupación del territorio de enormes proporciones, ya que poco a poco la CM se va quedando sin zonas de cultivo —clase que más

FIGURA 3
BALANCE DE SUPERFICIE GANADA O PERDIDA ENTRE EL 2000 Y 2006
PARA CADA CLASE TEMÁTICA



Ver leyenda de las clases en Tabla 1.

Fuente: elaboración propia.

pérdidas presenta—. Por otro lado los prados y praderas crecen tímidamente al igual que lo hace el matorral boscoso de transición. En concreto la Comunidad de Madrid demuestra en este periodo (2000-2006) la constante que se lleva repitiendo en los últimos años, la continua urbanización del suelo por la necesidad de crecimiento de los núcleos urbanos sacrificando para esto superficies principalmente agrícolas.

En definitiva, en la tabla 4 se puede apreciar cuántos polígonos se han estudiado y cómo han quedado encuadrados dentro de cada categoría. Además podemos ver qué tasa de sondeo —porcentaje de polígonos estudiados sobre el total de polígonos— tiene cada apartado del estudio. De igual forma se puede comprobar la distribución espacial de cada tipo de cambio dentro de la Comunidad de Madrid (figura 4).

TABLA 4

RESUMEN DE LOS POLÍGONOS ESTUDIADOS EN EL PRESENTE DOCUMENTO

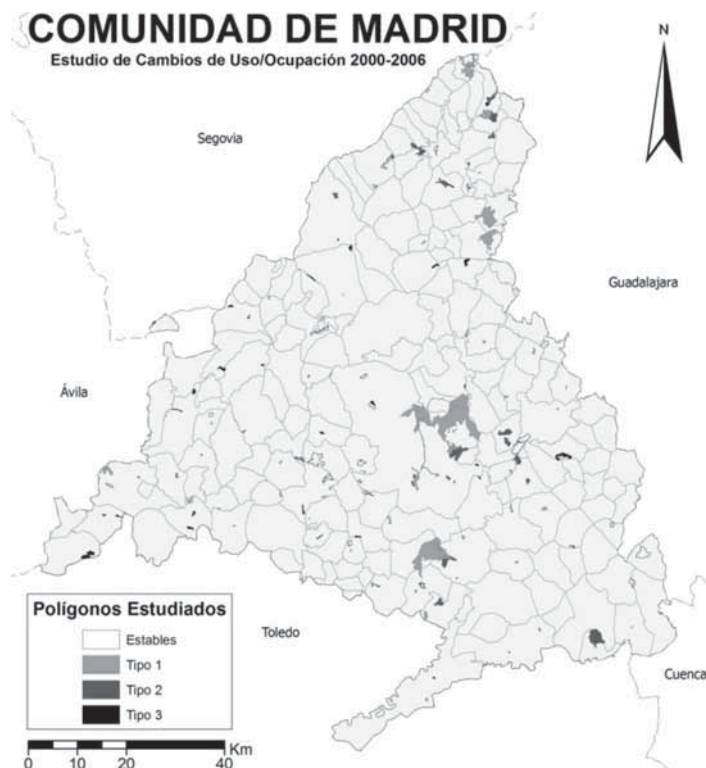
	Zonas Estables		Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3		TOTALES	
Error CLC2000	2 / 8%	164,20 ha	12 / 32%	871,36 ha	30 / 79%	871,36 ha	13 / 43,3%	871,36 ha	57 / 43,5%	871,36 ha
Error CLC2006	2 / 8%	164,20 ha	1 / 2,5%	2199,77 ha	4 / 11%	422,61 ha	4 / 13,3%	265,91 ha	11 / 8,5%	3052,49 ha
Bien Cartografiado	23 / 92	2719,10 ha	21 / 55%	4773,93 ha	1 / 3%	20,74 ha	0 / -	0 ha	45 / 34,5%	7513,77 ha
Sin Conclusiones	0 / -	0 ha	3 / 8%	913,95 ha	5 / 13%	857,97 ha	1 / 3,3%	10,50 ha	9 / 7%	1782,42 ha
Fallo Técnico	0 / -	0 ha	1 / 2,5%	6,5 ha	0 / -	0 ha	12 / 40%	140,69 ha	13 / 10%	147,19 ha
	Pe	25	Pe	38	Pe	38	Pe	30	Pe	131
	Pt	3332	Pt	508	Pt	141	Pt	30	Pt	4011
	Ts	1%	Ts	7,5%	Ts	27%	Ts	100%	Ts	3,3%

Las filas expresan el tipo de asignación que se le ha dado a cada polígono y las columnas la tipología del cambio en cuestión. Dentro de cada fila se pueden ver tres valores, el primero es el número de polígonos dentro de esa clase, el segundo el porcentaje sobre el total de ese tipo de cambio y el tercero el total de hectáreas que ocupan dichos polígonos. Por último, al pie de cada columna se reflejan el total de polígonos estudiados (Pe), el número total de polígonos (Pt) y la tasa de sondeo (Ts).

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 4

POLÍGONOS DE CAMBIO ESTUDIADOS EN EL PRESENTE DOCUMENTO

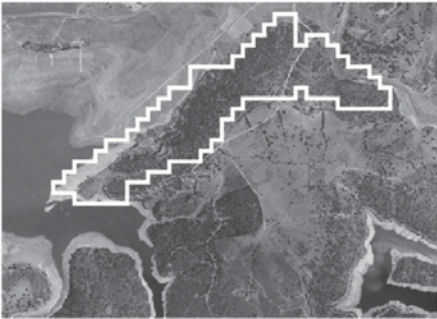

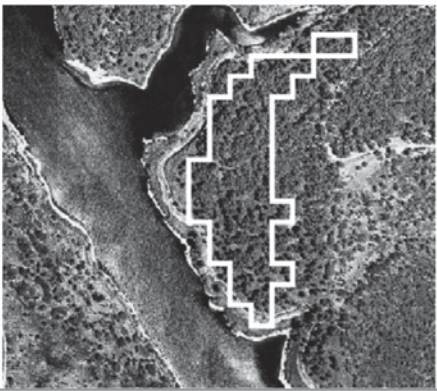



El tipo 3, por su reducido número y extensión superficial, es muy poco visible.

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar existe una distribución espacial de los polígonos estudiados más o menos homogénea a lo largo de toda la Comunidad de Madrid. Debemos tener en cuenta que el muestreo utilizado es el aleatorio simple con el fin de simplificar la selección de polígonos de forma inicial. Es bien sabido que según el caso es más correcto utilizar otros métodos y de hecho se pueden utilizar en este tipo de muestreos además del aleatorio simple, el aleatorio estratificado, por conglomerados, sistemático y sistemático no alineado siendo este último el más frecuentemente utilizado en verificación de clasificaciones (Chuvieco, 2007). A modo de ejemplo dentro de la figura 5 podemos apreciar dos casos de error temático bastante obvios.

FIGURA 5
EJEMPLOS DE ERRORES TEMÁTICOS DENTRO DE
LOS POLÍGONOS ESTUDIADOS

<p>Fotografía Aérea de 2001:</p>  <p>Uso en CLC2000: 111: Superficie Artificial/Zonas Urbanas/ Tejido urbano continuo.</p> <p>Análisis: Error en CLC2000.</p>	<p>Fotografía Aérea de 2006:</p>  <p>Uso en CLC2006: 311: Zona Forestal con vegetación Natural y espacios abiertos/Bosques / Bosques de Frondosas</p>
<p>Fotografía Aérea de 1999:</p>  <p>Uso en CLC2000: 312: Zona Forestal con vegetación Natural y espacios abiertos/Bosques/Bosque de coníferas</p> <p>Análisis: Error en CLC2006.</p>	<p>Fotografía Aérea de 2006:</p>  <p>Uso en CLC2006: 323: Zona Forestal con vegetación Natural y espacios abiertos/Espacio de vegetación arbustiva y/o herbácea / Matorrales esclerófilos</p>

En el primer caso es un error temático en la cartografía CLC2000, asignando de forma incorrecta la clase 111 al polígono en cuestión. El segundo caso se corresponde con una mala asignación en el año 2006.

Fuente: elaboración propia.

Partiendo de los polígonos de tipo 3, se han tomado la totalidad de los mismos puesto que no representaban una gran cantidad, por ello la tasa de sondeo es del 100%. Se demuestra dentro de los polígonos estudiados en este caso que este tipo de cambios suelen estar sujetos a error de forma que el 56,6% de los polígonos presentan una incorrecta asignación temática en alguna de las dos fechas estudiadas —un 86% de la superficie estudiada— y además un 40% de los polígonos refleja un fallo técnico —un 13% de la superficie estudiada—.

En el caso de los polígonos de tipo 2 que reflejan cambios difíciles de producirse y que deben llevar asociada una explicación, la tasa de sondeo es bastante representativa alcanzando el 27%. Destacar que dentro de los polígonos aquí recogidos, el 79% de los estudiados —62% de la superficie estudiada— presenta un error en la cartografía del 2000 y el 11% en la del 2006. En el 13% de los mismos no es posible obtener conclusiones debido a la complejidad de la interpretación de la leyenda en algunos casos, puesto que es difícil diferenciar a través de las ortofotos algunas clases entre sí.

Conforme se pasa de un cambio de tipo 3 a uno de tipo 1, disminuye también el porcentaje de error temático. Por ello al ver los valores de error de tipo 1 se puede comprobar que el 55% de los polígonos están bien cartografiados, pero aún así siguen apareciendo errores sobre todo en mayor magnitud en la cartografía del 2000 (32%). La tasa de sondeo no es tan representativa como las anteriores, puesto que se han comprobado el 7,5% de los polígonos de cambio de tipo 1. Dentro de los polígonos de mayor superficie —ocho estudiados— aparecen 2 errores de asignación temática, reflejando que se cometen también fallos independientemente del tamaño del polígono en cuestión, además uno de ellos es muy representativo, ya que el error en 2006 cubre casi un 25% de la superficie de cambios de tipo 1 estudiada.

Por último, en el caso de los polígonos estables que representan más del 93% del total de la superficie de la CM nos encontramos con una aceptable asignación temática, superando el 90% de correcta clasificación —tanto en número de polígonos como en superficie estudiada—. Pese a ello se siguen encontrando errores además en el caso de algún polígono en concreto en ambos años, puesto que en polígonos estables la asignación de una clase concreta de la leyenda de manera errónea puede implicar un error en ambas cartografías.

Estos valores para los polígonos estables están dentro de lo esperado según lo que se indica desde la realización del CORINE Land Cover —85% de exactitud temática—. Por el contrario los polígonos de cambio no cumplen estas expectativas. En la figura 4 se pueden visualizar los polígonos que se han empleado para la realización del estudio.

En última instancia se ha aplicado el estudio de la matriz de confusión para verificar la fiabilidad de la clasificación de los polígonos (CLC). Se tomó como verdad terreno la categoría que se debiera haber asignado en el momento de producción del CLC —a través de la visualización de fotografías próximas a las fechas de realización del CORINE realizada por los autores de este trabajo— y como clasificación la realizada por el CLC para los años 2000 y 2006. Se han obtenido dos matrices en concreto, una para la clasificación del 2000 (figura 6) y otra para la del 2006 (figura 7) para ver con todos los polígonos estudiados cómo de buenas son las clasificaciones realizadas, de tal forma que en cada matriz las filas reflejan la cartografía CLC en cada caso y las columnas la referencia verdad terreno —lo que entendemos que debería haberse cartografiado en cada caso—. La diagonal principal recoge los polígonos que se han cartografiado correctamente en cada año en cuestión. El resto de valores reflejará el número de los errores cometidos en cada caso.

En primer lugar la cartografía del 2006 presenta una exactitud global de la clasificación del 86% entrando dentro de los valores esperados. Por otro lado el valor del estadístico *kappa* nos indica que la clasificación realizada desde el CLC es del orden del 85% mejor que una realizada de forma aleatoria. La clase temática que peor parada sale de la clasificación sería las «zonas forestales, vegetación natural y espacios abiertos» —clase nº 3 al nivel 1 de la leyenda CLC— que alcanza el 76% de correcta clasificación —24% de error—, demostrando la complejidad de la leyenda en este punto.

Por otro lado en lo concerniente a la cartografía CLC del año 2000, los valores de exactitud global (47%) demuestran que dicha cartografía es de peor calidad temática que la del año 2006. Además los valores del estadístico *kappa* también disminuyen considerablemente —alcanzando el 42%—. Las clases de «zonas agrícolas» —clase nº 2 al nivel 1 de CLC— y las «zonas forestales, vegetación natural y espacios abiertos» —clase nº 3 al nivel 1 de la leyenda CLC— muestran un pobre porcentaje de correcta clasificación en ambos casos para la fecha en cuestión, añadiendo más razón a la hipótesis de excesiva densidad de la leyenda temática del CLC al nivel 3 de desglose.

Según el estudio de Catalá *et al.* (2008) para la cartografía de los años 1990 y 2000, se demuestra que un 68% de los polígonos que se estudiaron entonces presentaban error en alguna de las dos cartografías estudiadas. En nuestro caso dicho porcentaje alcanza el valor de 62% incluyendo los fallos técnicos puesto que se consideran que son derivados de un error, y el 69% si se incluyen los polígonos en los cuales no se han podido obtener conclusiones claras por la complejidad de la situación.

	111	112	121	122	124	131	132	133	141	142	211	212	221	222	223	231	242	243	244	311	312	313	321	322	324	332	333	334	411	511	512	E				
111	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	111	5			
112	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	112	13		
121	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121	8		
122	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122	0		
124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	1		
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131	0		
132	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132	1		
133	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133	4	
141	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141	3	
142	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142	6
211	2	1	1	0	0	0	0	2	0	0	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	211	21	
212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	0	
221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221	0	
222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	222	0	
223	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	223	4	
231	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	231	2		
242	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	3	
243	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	243	1	
244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	244	3	
311	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	311	8	
312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	312	9	
313	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	313	1	
321	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	321	21	
322	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	322	9	
323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	323	0	
324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	324	0	
332	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	332	0	
333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333	0	
334	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	334	1	
411	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	411	0	
511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	511	0	
512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	512	0	
	111	112	121	122	124	131	132	133	141	142	211	212	221	222	223	231	242	243	244	311	312	313	321	322	324	332	333	334	411	511	512	57	122			
E.P.	9	4	4	1	0	1	1	4	3	1	18	4	2	0	0	4	1	3	2	3	9	6	1	16	15	7	0	1	1	0	0	3	122			

	111	112	121	122	124	131	132	133	141	142	211	212	221	222	223	231	242	243	244	311	312	313	321	322	324	332	333	334	411	511	512	E			
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111	0		
112	1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112	13		
121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121	8	
122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122	0	
124	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	2	
131	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131	1	
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132	0	
133	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133	3	
141	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141	5	
142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142	0	
211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	211	7	
212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	4	
221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	221	0	
222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	222	0
223	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	223	4
231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	231	0
242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	242	2
243	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	243	2
244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	244	2
311	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0</																							

Fuente: elaboración propia

Los polígonos cartografiados de manera correcta incluyen en su caso el 26% y en el del presente documento el 35%. Este valor aumenta en cierto modo debido a que la cartografía del 2006 es bastante más precisa temáticamente hablando que la otra cartografía utilizada en su caso (CLC1990). Otra razón por la cual el valor es más alto es porque se han incluido los polígonos estables dentro del porcentaje que proporcionalmente tienen mejor balance de polígonos correctamente clasificados, si se excluyen éstos, nos encontramos con un 21%, valor muy próximo al obtenido en Catalá *et al.* (2008).

Los resultados son bastante parejos, lo que parece indicar la validez de la metodología para detectar errores temáticos dentro de cartografías de usos del suelo multitemporales.

CONCLUSIONES

Como se puede comprobar, la aplicación de la metodología aquí propuesta es bastante efectiva a la hora de determinar errores temáticos dentro de la cartografía.

A la vista de los resultados, se puede apreciar de forma clara que existen multitud de errores en la cartografía que se está empleando. De hecho, la mayoría de los casos de error se encuentran en la cartografía del año 2000 —aproximadamente 5 por cada 1 que nos encontramos en 2006—. Se debe plantear pues una pregunta: ¿Existe un motivo claro por el que aparezcan tantos errores en la asignación temática o los considerados fallos técnicos?

Pues bien, existen diferentes factores que influyen en la caracterización temática de un territorio, que van desde los verdaderamente obvios fruto de los errores puramente humanos a los derivados de las decisiones y restricciones impuestas en la realización de la cartografía.

En primer lugar existen dos elementos fundamentales que están interrelacionados y que condicionan siempre la elaboración de la cartografía temática: la escala de trabajo y la superficie mínima de representación. Esta última, desde las especificaciones del CLC alcanza las 25 ha, de tal forma que por debajo de ella no se pueden representar polígonos de forma independiente. Esta limitación va vinculada a la escala puesto que cuanto mayor sea la escala menor será el área mínima a representar y viceversa.

Otro punto importante a tener en cuenta son los errores derivados de la acción humana, puesto que cualquier tipo de trabajo realizado por el hombre de esta índole siempre viene afectado por una serie de errores que comete, o bien de manera sistemática o por puras equivocaciones. Además el fotointérprete

no es el mismo en todas las hojas —evidentemente— ni a lo largo del tiempo luego a su vez influirá la falta de criterio homogéneo en la toma de decisiones poco habituales —delimitación de un polígono con bordes difusos, elección de una clase determinada cuando existen dudas... en definitiva, los fallos técnicos—.

El punto fundamental donde creemos que está la fuente de gran cantidad de errores —sino de la mayoría— es el gran número de clases que presenta la leyenda al tercer nivel de detalle para la escala de trabajo elegida. Tenemos un total de 44 clases temáticas, y en concreto en la zona de estudio figuran 31 de las 44 totales que podrían aparecer que para la escala de trabajo fijada en 1:100.000 son excesivas.

Por un lado las clases de superficie artificial no presentan graves conflictos ya que son relativamente fáciles de diferenciar dentro de las mismas si presentan una superficie lo suficientemente grande. El problema viene con ciertas clases en las que, a la escala de trabajo manejada, no es posible discriminar con claridad unas de otras a la hora de fotointerpretar, principalmente las zonas forestales y, en menor medida, alguna de índole agrícola. Esto pasa con las confusiones generadas con los tipos de matorrales, el pastizal con prados y praderas e incluso en ocasiones con tierras de labor en secano. También se pueden llegar a confundir matorrales boscosos con bosques, espacios con vegetación escasa con roquedos e incluso con matorral esclerófilo o por ejemplo algunos terrenos regados permanentemente con praderas o pastizales.

Si se mantiene la idea de trabajar a 1:100.000, es necesario utilizar un menor nivel de detalle para esta escala o generalizar la leyenda existente. A su vez, si lo que se deseara es mantener la leyenda para asegurar la correcta catalogación de recursos, será necesario realizar la cartografía a mayor escala. Consideramos que el optar por una leyenda tan amplia dificulta las labores de interpretación del personal que digitaliza los polígonos, teniendo que tomar decisiones rápidas y en ocasiones desacertadas para no ver frenado el ritmo de producción. Éste es uno de los fenómenos que influyen negativamente en el resultado de la calidad temática de los mapas.

Una vez vistos los motivos fundamentales por los que pueden generarse gran parte de los errores temáticos, podemos concluir en varios puntos: la cartografía CLC00 es del orden de 5 veces de peor calidad temática que la del 2006. La leyenda es excesivamente densa para la escala de trabajo presentada. Los resultados obtenidos pueden ser susceptibles de aplicarse a través de las propuestas realizadas en cada polígono de cambio como corrección de las cartografías CLC2000 y CLC2006, con el fin de obtener una mejora en la calidad temática de los mapas.

Otra de las conclusiones que se pueden derivar del estudio es que aparecen polígonos con error de cartografía temática en zonas de aguas embalsadas. La recomendación lógica es qué, en estos casos, en la elaboración de cartografía, se respeten las líneas de embalse de la cartografía oficial en cada país con el fin de evitar que se produzcan errores al generar la cartografía de cambios en este tipo de lugares.

En cuanto a la calidad de la cartografía que se ha empleado, se puede concluir que no es tan fiable, en principio, como indican desde la entidad productora del CLC —85% de exactitud temática, EEA—. Tras la aplicación de la metodología propuesta sobre la zona de estudio, queda en entredicho el uso de la cartografía de cambios para la toma de decisiones y adopción de políticas ambientales —derivadas de la cartografía de cambios— sin tener en cuenta el porcentaje de error existente en la cartografía. Aún con esto, la cartografía del 2006 se encuentra dentro de los valores esperables de exactitud temática, siendo válida para la derivación de trabajos de la misma.

En resumen, a través de la sencilla metodología aquí expuesta, se pueden determinar con claridad errores de asignación temática en cartografía de usos del suelo multitemporal. Además puede incluirse, por su sencillez, dentro de los métodos de verificación y validación durante la producción de cartografías de usos o coberturas del suelo. El método es extrapolable a otro tipo de cartografías temáticas, no siendo exclusiva para los usos del suelo. Con la metodología propuesta se pretende mejorar los datos de partida, lo cual en esencia debería ser una constante en los trabajos científicos para poder obtener los mejores resultados posibles.

FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Se debe tener en cuenta que solamente se ha realizado el estudio a un porcentaje de la superficie² de manera que para obtener una mejor tasa de sondeo y con ello resultados más consolidados se podría ampliar el número de polígo-

² Toda la información concerniente al presente estudio podemos encontrarla en la página web: http://www.geogra.uah.es/simurban/cartografia_cambios_clc/index.php dentro de la cual se puede ver la totalidad del proceso seguido en la realización del mismo. Además se pueden visualizar los polígonos en cuestión estudiados, así como los mapas resultantes, documentos complementarios, matrices, etc. En esta web se pueden encontrar los resultados detallados de dos trabajos realizados recientemente: González (2010) y Barreira (2010). La web se emplaza dentro del entorno del proyecto SIMURBAN del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá.

nos a estudiar. Además los métodos de muestreo como se señaló con anterioridad se podrían variar para que las condiciones de los polígonos seleccionados fueran distintas.

Parece bastante interesante la aplicación de la metodología a otro tipo de cartografías que no sean de usos del suelo, así como extrapolarla a otro tipo de Comunidades Autónomas o países con distintas condiciones en el terreno para ver cómo influyen las diferentes clases temáticas dentro de la detección de errores y con el fin de mejorar la calidad del CORINE Land Cover.

Recibido: 11/03/2011

Aceptado: 01/02/2012

BIBLIOGRAFÍA

- Bach, M.; Breuer, L.; Frede, H. G.; Huisman, J. A.; Otte, A. y Waldhardt, R. (2006): "Accuracy and congruency of three different digital land-use maps". *Landscape and urban planning*, 78/4, pp. 289-299.
- Barreira González, P. (2010): *Estudio de errores temáticos en el CORINE LAND COVER (2000-2006) a través de la cartografía de cambios*. Trabajo fin de carrera, Ingeniería en Geodesia y Cartografía, Universidad de Alcalá. (No publicado).
- Características CLC, Ministerio de Fomento, Gobierno de España. Disponible en: http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Teledeteccion/corine/clc/Caracteristicas.htm. (Fecha de consulta: Octubre 2010).
- Catalá Mateo, R.; Bosque Sendra, J. y Plata Rocha, W. (2008): "Análisis de los posibles errores en la base de datos CORINE Land Cover (1990-2000) en la Comunidad de Madrid". *Estudios Geográficos*, 69/264, pp. 81-104.
- Chuvieco Salinero, E. (2007): *Teledetección Ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona, Editorial Ariel, 586 pp.
- González Cascón, M. V. (2010): *Análisis de la calidad de la cartografía Corine Land Cover (2000-2006) en la Comunidad de Madrid*. Trabajo fin de Máster, Universidad de Alcalá (No publicado).
- Gutiérrez, J. (2004): "Producción de suelo industrial en la Comunidad de Madrid: expansión, dispersión y fragmentación del espacio industrial". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 24, pp. 169-192.
- INE (Instituto Nacional de Estadística) (2010): www.ine.es (Fecha de consulta: Marzo de 2011).
- Mas, J. F y Fernández, T. (2003): "Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas". *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, 51, pp. 73-87.

- Niclós, R.; Estrela, M. J.; Valiente, J. A. y Barberá, M. J. (2009): "Generación de mapas de usos del suelo periódicos a escala regional con imágenes MODIS: aplicación a la Comunidad Valenciana", en S. Montesinos Aranda y L. Fernández Fornos (eds.): *Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*. Calatayud, septiembre de 2009, pp. 213-216. Disponible en: <http://www.aet.org.es/congresos/xiii/cal54.pdf> (Fecha de consulta: Marzo de 2012).
- Observatorio de la Sostenibilidad en España (2007): *Cambios de ocupación del suelo en España. Implicaciones para la sostenibilidad*. Madrid, Mundiprensa. Disponible en: <http://www.sostenibilidad-es.org/es/informes/informes-tematicos/cambios-de-ocupacion-del-suelo-en-espana> (Fecha de consulta: Marzo 2012).
- Plata Rocha, W.; Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2008): "Análisis de factores explicativos del crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid a través de métodos estadísticos (RLO y MLA) y SIG". *Revista de Planeamiento Territorial y Urbanismo Iberoamericana*, 0.
- Pontius J. R., R. G. y Lippitt, C. (2006): "Can error explain map differences over time?". *Cartography and Geographic Information Science*, 33/2, pp. 159-171. Disponible en: http://www.clarku.edu/~rpontius/pontius_lippitt_2006_cagis_proof.pdf (Fecha de consulta: Marzo 2012).
- Pontius J. R., R. G.; Shusas, E. y Mceachern, M. (2004): "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence". *Agriculture, Ecosystemes and Environment*, 101, pp. 251-268. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016788090300327X> (Fecha de consulta: Marzo 2012).
- Siedentop, S. y Meinel, G. (2004): "CORINE Land Cover 2000 in Nation-wide and Regional Monitoring of Urban Land Use and Land Consumption". Berlin, UBA-Texte Workshop CORINE Land cover 2000, pp. 162-169. Disponible en: http://www2.ioer.de/recherche/pdf/2004_siedentop_meinel_clc.pdf (Fecha de consulta: Marzo 2012).

RESUMEN:

La cartografía temática suele ser el punto de partida en muchos trabajos. Es necesario tener cuidado con los errores que pueda presentar la fuente de datos para conseguir un buen resultado. Utilizando una sencilla metodología se pueden determinar errores temáticos en las cartografías CORINE Land Cover de los años 2000 y 2006 a través de la intersección de ambas bases de datos. Dicha intersección de mapas nos dará una serie de polígonos estables y de cambio y una matriz de cruce con la que interpretar el balance de superficie ganada o perdida. Mediante el estudio a través de muestreos de los diferentes tipos de cambio y su verificación con ortofotos se puede llegar a encontrar diversos errores de asignación temática en las cartografías empleadas. Además, el uso de las matrices de confusión permite establecer el nivel de exactitud global y de las categorías más propensas a errores.

PALABRAS CLAVE: errores temáticos; CORINE; Matriz de Confusión.

ABSTRACT:

Thematic cartography use to be the starting point in several works. It is necessary to be careful with the errors that data source may have to achieve a good outcome. Using a simple methodology we can identify thematic errors in the CORINE Land Cover cartography from the years 2000 and 2006 through the database intersection. That map intersection will give us a group of stable and changing polygons and a cross tabulation matrix with which the surface gain or loss can be interpreted. By means of studies through sampling stable and changing polygons and their verification with orthophotos we can find several thematic errors in the cartography used. Besides, the use of confusion matrices determines the level of global accuracy and categories most prone to error.

KEY WORDS: thematic errors; CORINE; Confusion Matrix.

RÉSUMÉ:

La cartographie thématique est généralement le point de départ pour de nombreuses activités. Des précautions doivent être prises pour les erreurs qui peuvent survenir dans la source de données pour obtenir un bon résultat. En utilisant une méthode simple permet de déterminer les erreurs dans les cartes thématiques de la CORINE Land Cover 2000 et 2006 par l'intersection de deux bases de données. Cette intersection des cartes nous donnent un ensemble de polygones stables et de changement et une matrice du croisement avec laquelle interpréter le bilan de surface gagnée ou perdue. Au moyen de l'étude à travers des échantillonnages de différents taux de change et sa vérification avec ortofotos on peut arriver à trouver de diverses erreurs d'assignation thématique dans la cartographie employée. De plus, l'usage des matrices de confusion permet d'établir le niveau d'exactitude globale et des catégories les plus enclines aux erreurs.

MOTS CLÉS: erreurs thématiques; CORINE; Matrice de confusion.