

Cartografía de usos del suelo por fotointerpretación mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG): análisis comparativo de los sistemas ráster y vectorial

J.R. Rodríguez Pérez; X.P. González Vázquez, P. Arias Sánchez
Departamento de Ingeniería Minera
Universidad de León
E.S.T.I.A. Avda. de Astorga, S/N. 24400 – Ponferrada (León)
E-mail: dimjrp@isidoro.unileon.es; Tfno.: 987 425 533; Fax.: 987 429 615

1. Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son un potente instrumento para la recogida, almacenamiento, gestión, análisis y representación de datos geográficos referidos a un territorio concreto. Gracias a esta capacidad son sistemas utilizados en la obtención de cartografía temática.

Entre los dos tipos principales de SIG, vectorial y ráster, hay importantes diferencias que exigen la elección del sistema mejor adaptado al tipo de datos a analizar y representar en la cartografía temática.

En este trabajo se realiza un estudio comparativo de los mapas de usos del suelo obtenidos mediante un SIG vectorial (ArcViewTM) y el mapa de usos obtenido a través de un SIG ráster (IdrisiTM).

2. Introducción

2.1.La variable usos del suelo

Se entiende por *uso del suelo* la ocupación de éste por cualquier actividad. Los usos del suelo sobre un territorio, resultan una fiel expresión de las relaciones entre el hombre y el medio que lo rodea. Se puede decir que en el paisaje se lee la historia [5]. En éste quedan impresas las huellas los fenómenos naturales, de determinadas decisiones políticas, de las actuaciones de ordenación,...

2.2.Interés de la evolución de los usos

Los usos del suelo tienen gran interés científico: por un lado interesa conocer como eran en el pasado, cual es su distribución actual, cual es su dinámica, su evolución... y por otro lado interesa conocer si esta distribución es funcional, si el sistema territorial objeto de estudio es estable, es el deseable o por el contrario no es sostenible.

Además, esta variable es utilizada como indicador ambiental: "...las actividades humanas ejercen presiones sobre el medio y cambian su calidad y la cantidad de los recursos naturales. La sociedad responde a esos cambios mediante políticas ambientales, sectoriales y económicas..." [4]. Se trata de una variable que puede reflejar la presión del hombre sobre el medio (indicador de presión), la calidad del medio y recursos naturales (indicador de estado) y medir cual es el esfuerzo social y político en materia medioambiental (indicador de respuesta). Por tanto, con el estudio de esta variable se puede valorar cual ha sido el resultado de una determinada política de ordenación y permitirá la formulación de políticas y seguimiento y evaluación de las mismas.

En la propuesta del sistema español de indicadores ambientales, se hace referencia a la utilización de la variable usos del suelo. En el área *medio urbano*: los cambios en el uso del suelo se suponen determinantes a la hora de analizar la pérdida de superficies ocupadas por ecosistemas naturales o espacios agrarios de elevada fertilidad. También es una variable estudiada para las subáreas suelo, bosques y biodiversidad. Algunos indicadores concretos son: superficie arbolada, superficie incendiada, superficies protegidas con planes de ordenación de recursos naturales, índice de intensificación agrícola, superficie ocupada por repoblaciones...

El conocimiento de la dinámica en ocupación y usos del suelo supone una información determinante en el momento de diseñar o valorar una política de gestión de un territorio [3]. No cabe duda de que los distintos cambios socioeconómicos y culturales imponen una dinámica propia y modificaciones en la organización y aprovechamiento del territorio.

2.3.Determinación de los usos de un territorio

Entre los antecedentes sobre la determinación de los usos del suelo, podemos destacar el programa de la Unión Europea denominado CORINE-Land Cover. Éste es un proyecto que trata de cartografiar (a escala 1:100.000) la cobertura del suelo de toda la Unión Europea, utilizando como base imágenes del satélite LANDSAT (Thematic Mapper).

Otros trabajos relevantes son los desarrollados por la mayoría de Administraciones Autonómicas, como es el caso del Servicio de Información Territorial de Galicia (SITGA) que pretende obtener cartografía de usos del suelo de toda Galicia a una escala 1:25.000, apoyándose en imágenes de satélite (LANDSAT, SOPT) y fotografía aérea. Son muy conocidos los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos y los de Clases Agrológicas (escala 1:50.000), que edita el Ministerio de Agricultura. También se realizó un buen estudio de usos para la elaboración del II Inventario Forestal Nacional (escala 1: 25.000).

2.4. Objetivos

Debido al interés en la determinación de los usos del suelo y su evolución a lo largo del tiempo, se están desarrollando diversas líneas de investigación para determinar metodología para la determinación de usos del suelo. Esta ponencia se centra en una de estas líneas investigadoras y utiliza esta variable para su aplicación en la ordenación territorial.

El objetivo fundamental es buscar una metodología capaz de la determinación cualitativa y cuantitativa de los usos del suelo en un período concreto. Los criterios para el desarrollo de la misma son de tipo funcional (interpretación simple, presentación, operatividad, actualización, etc.), económico (utilización de información existente, rapidez, etc.) y que se pueda aplicar a diferentes situaciones territoriales.

Como uno de los criterios para fijar esta metodología, es la posibilidad de actualización de la cartografía generada, en esta ponencia se mostrará una aplicación del método propuesto a un territorio concreto en dos períodos de tiempo. El territorio elegido es el municipio de Trabada (Lugo) y los dos períodos de tiempo corresponden a 1954/57 y 1994/96.

3. Material

En este apartado se describe cual es el tipo de información de partida y cuales son las herramientas para el almacenamiento, procesado análisis y salida gráfica de la información de usos del suelo.

3.1. Información para la realización de la cartografía

Para realizar los mapas de usos del suelo, se emplearán fotogramas aéreos. Mediante fotointerpretación se realizará una cartografía sobre formato papel que posteriormente se introducirá en un sistema informático. Entre el material cartográfico empleado para el desarrollo del trabajo se pueden destacar los que se enumeran en los apartados siguientes.

3.1.1. Fotografía aérea vertical

En película pancromática (B/N): fotogramas número 23253, 23254, 29022 - 29024, 38230 - 38235, 38324, 38325, 48496 - 48498, del Ejército del Aire y Ejército de Tierra (C.E.F.T.A.). Zona: Hojas número 24 y 25 del Mapa Topográfico del Instituto Geográfico Nacional (IGN). (Escala 1:50.000). Datos del vuelo: dist. focal de 153,52 mm; fecha 19/04/1957 y 13/10/1956; escala aproximada 1:30.000.

En película pancromática (B/N): fotogramas número 4 - 10 (pasada 29), 11 - 25 (pasada 30), 26 - 48 (pasada 31), 49 - 68 (pasada 32), 69 - 86 (pasada 33), 87 - 104 (pasada 34), 105 - 120 (pasada 35), 121 - 130 (pasada 36), 131 - 140 (pasada 37), 141 - 148 (pasada 38) y 149 - 152 (pasada 39), del Ministerio de Hacienda Dirección General de Propiedades y Contribución Territorial. Sección de fotografía Aérea. Zona: Hojas número 24 y 25 del Mapa topográfico del IGN (Escala 1:50.000). Datos del vuelo: realizado por C. E. T. F. A. en 1954, a una escala aproximada de 1: 12.500.

En película color: fotogramas número 174, 176 (pasada 17), 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62. (pasada 16), 1088, 1090, 1092, 1094, 1096, 1098, 1100, 1102, 1104, 1106, 1108, 1110 (pasada 15), 742, 746, 748, 750, 752, 754, 756, 758, 760, 762, 764 (pasada 14), 1062, 1064, 1066, 1068, 1070, 1072, 1074, 1076, 1078, 1080, 1082, 1084, 1086 (pasada 13), encargado por el SITGA (Xunta de Galicia). Zona: Hojas número 24 y 25 del Mapa topográfico del IGN (Escala 1:50.000). Datos del vuelo: distancia focal de 151,92 mm; fecha, 15/06/96 y 07/10/94; escala aproximada de vuelo 1:17.000.

Cartografía: Planos IGN serie BCN 25 (escala 1:25.000) en formato digital DGN, hojas 24.II, 24.IV, 25 I y 25 III (Años 1995 / 96); hojas 25.I y 25.III. (Año 1.990) del IGN a escala 1:25.000 en formato papel; planos de la Consellería de Ordenación de Territorio (Xunta de Galicia) a escala 1: 10.000, hojas 24-1 2, 24-2 4, 24-3 4, 25-1

1, 25-2 1, 25-3 1, 25-1 2, 25-2 2 (Año 1.983 / 87); datos gráficos y alfanuméricos del parcelario del Municipio de Trabada en formato ARC/INFOTM, facilitados por el Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria (CGCCT).

3.1.2. Software informático: los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Según el National Center for Geographic Information Analysis, EEUU (1990), un SIG es un “sistema compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar, y representar datos georeferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación” [2].

Las funciones de los SIG se dividen en cinco grupos principales ([1] y [2]): funciones para la entrada de información (teclado, digitalizadores, etc.), funciones para la salida, representación gráfica y cartográfica de la información (pantalla, impresora, etc.), funciones de gestión de la información espacial (topología), funciones de manipulación y funciones analíticas (recuperación, superposición, vecindad, conectividad, etc.).

El análisis de la evolución temporal de este hecho presenta graves dificultades que un SIG puede ayudar a resolver. La concepción de espacio-tiempo que se va a considerar, es la que se puede denominar "secuencia de mapas" (Langran, 1992, en [5]): se trata de recoger los estados alcanzados por los hechos geográficos a lo largo del tiempo y los eventos no se representan sino que quedan implícitos en la variación de los estados. En definitiva se pretende conocer la situación del sistema territorial en dos períodos y definir cual ha sido la influencia de alguna actuación concreta en ese cambio y como influye ésta en la dinámica del territorio.

Podemos decir que se diferencian dos tipos de modelos de tratamiento de la información espacial, según atiendan a las propiedades de cada punto (en función de una variable o propiedad), o a su localización espacial (determinadas coordenadas espaciales), denominados *vectorial* y *ráster*, respectivamente.

Los sistemas *vectoriales* contemplan la existencia de unidades individualizadas en el espacio geográfico que tienen determinadas propiedades comunes y representan unidades que realmente existen en el área de estudio. Estas pueden ser naturales (topográficas, geomorfológicas, cursos de agua,...) o artificiales (edificaciones, infraestructuras, delimitaciones administrativas,...). La representación de estas unidades se realiza con elementos geométricos clásicos (puntos, líneas y polígonos), empleados en la cartografía tradicional y cuya diferenciación es puramente topológica.

El sistema *ráster* define unidades artificiales, mediante la superposición de una malla regular sobre el área de estudio. El espacio que comprende cada una de estas celdas constituye una unidad de observación (pixel) para la que se recoge la información temática.

Para este proyecto se emplearon SIG de ambos modelos, utilizando cada uno en aquellas acciones para las que es más eficiente e intentando comparar los resultados de ambos sistemas. El software empleado es: ARC/INFOTM en plataformas UNIX y PC, ArcViewTM bajo Microsoft-Windows-95TM (vectoriales) e IdrisiTM bajo Microsoft-Windows-95TM (ráster).

4. Metodología

La propia estructuración lógica de los SIG, marca las fases a seguir para la consecución del trabajo. La secuencia seguida en el tratamiento de la información comenzó con la modelización conceptual de sistema, para seguir con la entrada y verificación de información, estructuración y gestión de datos, análisis y se finaliza con la representación de los resultados [2].

4.1. Obtención de información de partida

Basándonos en el material fotográfico y cartográfico citado en el apartado anterior, se realizó la fotointerpretación de usos, delimitándolos sobre dos mapas base (uno por cada período de referencia: 1954/57 y 1994/96), para su posterior digitalización.

4.1.1. Fotointerpretación

Para la generación de los mapas de usos del suelo de los períodos 1954/57 y 1994/96, se partió de fotogramas aéreos de esos años. La delimitación de los usos se realizó sobre un mapa base obtenido a partir del parcelario del Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria. Este mapa base contenía curvas de nivel, carreteras y otras infraestructuras, edificaciones, lindes de parcelas, etc., que se tomaron como referencia para localizar de forma muy aproximada las líneas de usos.

La escala de trabajo será 1:10.000 y viene determinada por la escala de los fotogramas del período 56/57 (escala 1:30.000), pues el mapa del parcelario está digitalizado y georreferenciado por lo que no presenta problemas a la hora de elegir una escala más detallada. Las fotos de los años 94/96 son a escala 1:17.000 y tampoco presentan problemas a la hora de trabajar a la escala elegida.

Para la elaboración de la leyenda de usos del suelo se han tenido en cuenta otros trabajos de relevancia: programa CORINE de la U. E., usos del suelo definidos por el SITGA, usos del suelo diferenciados en los mapas de Cultivos y Aprovechamientos (escala 1:50.000), leyenda utilizada por el CGCCT, etc. Las clases diferenciadas se indican en la tabla 1.

Código	Clase de uso	Código	Clase de uso
1	Superficies artificiales	7	Cursos de agua
2	Zonas agrícolas	8	Otras zonas sin vegetación
4	Pastizal	31	Fronosas autóctonas
5	Matorral	32	Zonas forestales
6	Matorral arbolado	33	Bosque mixto

Tabla 1 – Leyenda de usos del suelo

4.1.2. Delimitación de los usos fotointerpretados en un mapa de apoyo

El sistema empleado fue similar para los dos períodos de referencia: se delimitaron los distintos recintos con uso del suelo diferenciados sobre un plano de base (formato papel). Sobre éste se representaron el parcelario y las curvas de nivel, con objeto de alcanzar la mejor precisión posible en la delimitación de cada perímetro.

4.2. Entrada de la información de usos de suelo

Después de fotointerpretar los usos, se digitalizaron cada uno de los recintos diferenciados en el mapa base. El método de digitalización fue vectorial: digitalización discontinua mediante un cursor con 16 botones, que ejecutan las operaciones necesarias en este proceso. El periférico utilizado fue una tableta digitalizadora y el software AutoCAD™ v.12.

Una vez digitalizados los mapas se obtuvieron archivos con extensión *.dwg, y para que estos mapas se exporten a un SIG, deben generarse archivos con extensión *.dxf. La información así obtenida se introdujo en el SIG ARC/INFO™, en el cual se asocia la información gráfica y alfanumérica.

4.3. Análisis de la información geográfica y alfanumérica

Una vez introducida la información en el SIG, ya se puede manipular y analizar en función de los resultados deseados. Para la gestión y análisis se emplearon varios programas informáticos:

4.3.1. Operaciones realizadas con ARC/INFO™

La operación fundamental consistió en generar las coberturas de los planos digitalizados. A partir de sus respectivos archivos *.dxf. También se utilizó este programa para la edición de recintos, ya que cuando se genera topología en un plano, éste debe tener todas sus líneas o polígonos perfectamente delimitados.

Al generar las coberturas (mapas con estructura topológica y con tablas asociadas), ya tenemos datos geográficos y podemos editar los datos alfanuméricos en sus tablas mediante la codificación de polígonos o líneas.

ARC/INFO™ también se empleó para la unión e intersección de coberturas adyacentes, y para realizar el estudio evolutivo de los usos en ambos períodos de referencia, mediante el sistema vectorial.

4.3.2. Operaciones realizadas con ArcView™

Esta herramienta es menos potente que la anterior pero su utilización agilizó algunas operaciones, ya que es una aplicación con un entorno sencillo de manejar que facilitó la edición de tablas de atributos y la preparación de los mapas para las salidas gráficas en papel.

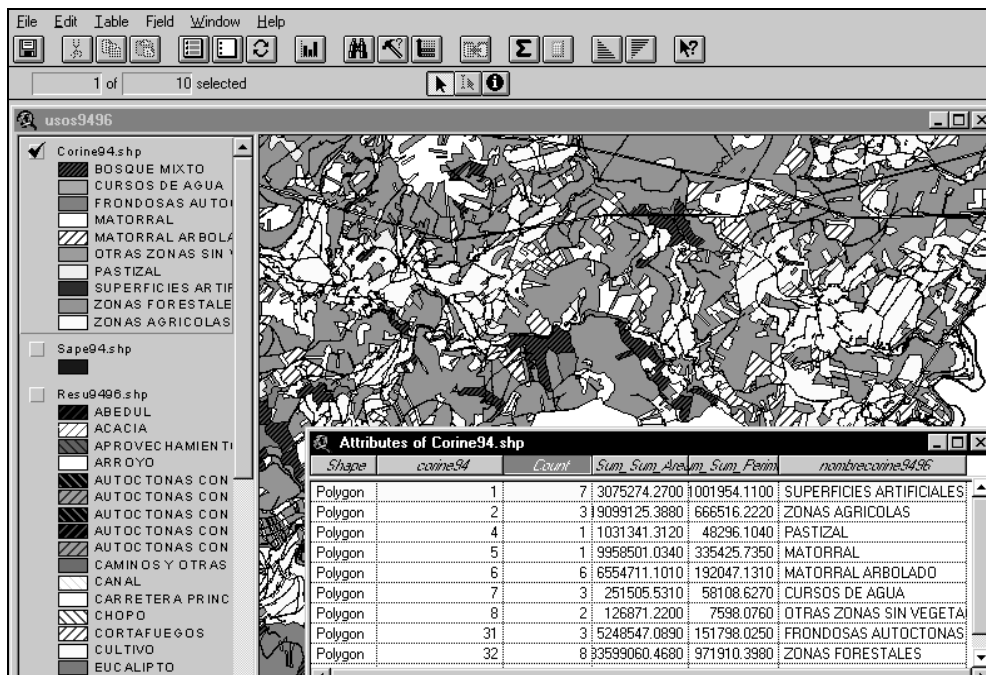


Fig. 1 – Entorno ArcView™ con mapa de usos y base de datos desplegada.

Este SIG se empleó para añadir atributos a las bases de datos alfanuméricas asociadas a una cobertura (codificación de polígonos): cuando se crea un tema de polígonos o líneas, ArcView™ genera automáticamente una tabla de atributos asociada al mismo, que contiene todos los registros asociados a ese tema y a la que se pueden añadir los campos que se consideren necesarios.

La operación fundamental que se realizó con este programa fue el análisis espacial mediante el sistema vectorial y la salida gráfica de los resultados.

4.3.3. Operaciones realizadas con Idrisi™

Idrisi™ es un SIG tipo *ráster* y puede realizar análisis semejantes a los efectuados con ArcView™ (elaboración de mapas de usos para cada año, identificación de cambios, identificación de áreas que no variaron de uso,...), pero sus ventajas se acentúan a la hora de realizar superposiciones de mapas temáticos. Por ello se utilizó para el análisis de la variación de usos del suelo en función de la pendiente, orientación y altitud del terreno. Fue así como se obtuvieron la mayor parte de las tabulaciones cruzadas que se presentaron en los resultados de la investigación.

También permite realizar modelos digitales del terreno a partir de mapas con las curvas de nivel codificadas. Éstos se transformaron de archivo vectorial a ráster, se realizó una interpolación para asignar una altitud a cada pixel y finalmente se realizó el bloque diagrama, en el que se representa el relieve de la zona.

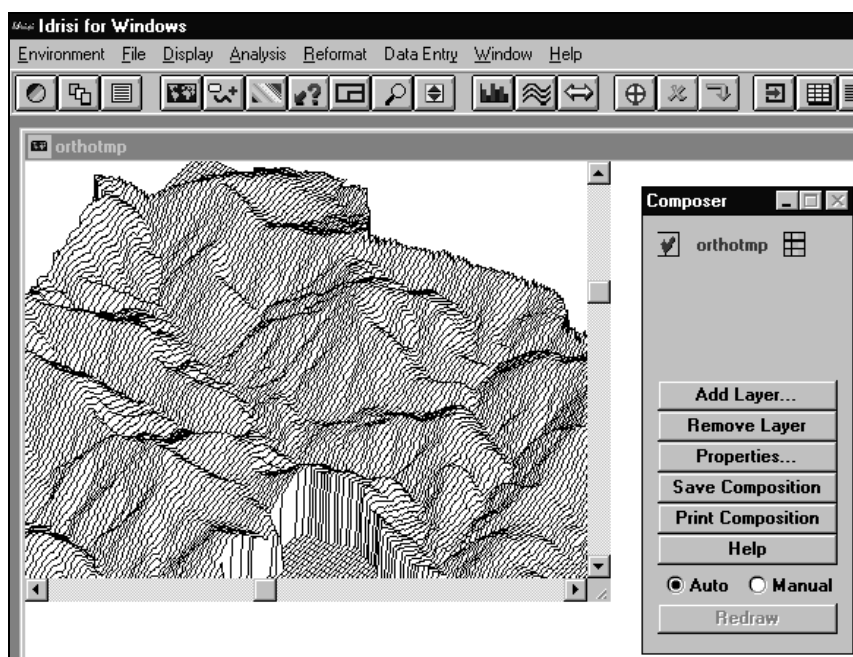


Fig. 2- Entorno Idrisi™ generando un bloque diagrama en relieve

El proceso seguido consistió en transformar la información desde archivos de ArcView™ para generar ficheros compatibles con Idrisi™, para su posterior procesado. La conversión de los ficheros de ArcView™ (*.shp, *.shx y *.dbf) a formatos reconocibles por Idrisi™ se realizó mediante el módulo *shapeidr*, obteniendo así ficheros vectoriales que posteriormente se rasterizan, indicando para ello el número de columnas y filas que mejor se adapte al objetivo buscado.

También se realizó la operación inversa, es decir, se transformaron ficheros de Idrisi™ (*.img) en ficheros gráficos reconocibles por ArcView™ (*.tif, *.bmp). Con esto se consiguió mejorar la presentación de los planos tipo *ráster*.

4.4. Presentación de resultados

Los resultados obtenidos se pueden expresar en forma de mapas, tablas y gráficos, que contengan la información que se pretende mostrar.

5. Resultados

Aplicando la metodología expuesta al municipio de Trabada (Lugo), se obtuvieron diversos resultados, algunos de los cuales se citan a continuación.

5.1. Valoración cuantitativa de los usos del suelo

Los resultados del análisis de usos realizado mediante el SIG vectorial (ArcViewTM), se presentan en las tablas 2 y 3. En ellas se puede apreciar cual es la valoración cuantitativa absoluta o relativa de cada uso. En estas y sucesivas tablas, se empleará la codificación numérica empleada en todos los análisis y que aparece expuesta en la tabla 1.

	Uso del suelo	Total	Total
Nº	Nombre	(ha)	(%)
1	Superficies artificiales	306,54	3,69
2	Zonas agrícolas	1.910,10	23
4	Pastizal	103,15	1,24
5	Matorral	996,06	11,99
6	Matorral arbolado	655,46	7,89
7	Cursos de agua	25,13	0,3
8	Otras zonas sin vegetación	12,69	0,15
31	Frondosas autóctonas	524,78	6,32
32	Zonas forestales	3.359,42	40,44
33	Bosque mixto	412,93	4,97
	Total	8.306,26	100

Tabla 2 - Usos del suelo en el período 1994/96

	Uso del suelo	Total	Total
Nombre	(ha)	(%)	
Superficies artificiales	222,42	2,68	
Zonas agrícolas	2.108,70	25,39	
Pastizal	295,2	3,55	
Matorral	3.348,94	40,32	
Matorral arbolado	493,4	5,94	
Cursos de agua	24,51	0,3	
Otras zonas sin vegetación	5,56	0,07	
Frondosas autóctonas	591,53	7,12	
Zonas forestales	964,94	11,62	
Bosque mixto	251,08	3,02	
Total	8.306,26	100	

Tabla 3 - Usos del suelo en el período 1954/57

5.2. Estudio de la variación de usos del suelo mediante el sistema vectorial

Cruzando la información de los mapas de usos del suelo en ambos períodos de referencia, se puede obtener la tabulación cruzada de los usos en 1954/57 y 1994/96, en las que se valora en cifras absolutas y relativas cuales han sido las variaciones de usos. La información se obtuvo mediante un análisis realizado con ArcViewTM, aunque previamente se realizó una intersección de mapas con ACR/INFOTM.

En la tabla 4 se muestran estos resultados. Cada fila corresponde con un uso del período 1994/96 y se puede apreciar la evolución seguida por el mismo desde 1954/56. En las columnas se muestran los usos del período 1954/56 y su dinámica hasta 1994/96.

Variación de la superficie en términos absolutos (ha)											
Usos	1	2	4	5	6	7	8	31	32	33	Total 94/96
1	198,77	39,65	0,95	40,8	4,72	0,02	0,21	5,69	15,36	0,38	306,54
2	10,52	1.537,86	59,19	134,8	25,97	-	0,22	12,15	111,55	17,83	1.910,10
4	0,75	44,57	9,22	34,14	4,06	-	0,02	1,88	8,5	0,02	103,15
5	0,92	56,42	32,26	759,66	43,24	-	-	17,03	65,91	20,62	996,06
6	1,37	38,41	30,49	417,42	53,35	-	-	13,23	89,24	11,94	655,46
7	0,36	-	-	0,02	-	24,49	-	0,26	-	-	25,13
8	-	1,19	-	2,2	0,36	-	5,09	0,02	3,84	-	12,69
31	0,68	55,58	1,11	83,96	23,86	-	-	329,23	17,52	12,84	524,78
32	7,69	286,51	154,54	1.729,79	314,47	-	0,02	108,42	612,81	145,17	3.359,42
33	1,35	48,52	7,44	146,13	23,37	-	-	103,63	40,21	42,28	412,93
Total 54/57	222,42	2.108,70	295,2	3.348,94	493,4	24,51	5,56	591,53	964,94	251,08	8.306,27
Variación de la superficie en términos relativos (%)											
Usos	1	2	4	5	6	7	8	31	32	33	Total 94/96
1	2,39	0,48	0,01	0,49	0,06	-	-	0,07	0,18	-	3,69
2	0,13	18,51	0,71	1,62	0,31	-	-	0,15	1,34	0,21	23
4	0,01	0,54	0,11	0,41	0,05	-	-	0,02	0,1	-	1,24
5	0,01	0,68	0,39	9,15	0,52	-	-	0,21	0,79	0,25	11,99
6	0,02	0,46	0,37	5,03	0,64	-	-	0,16	1,07	0,14	7,89
7	-	-	-	-	-	0,29	-	-	-	-	0,3
8	-	0,01	-	0,03	-	-	0,06	-	0,05	-	0,15
31	0,01	0,67	0,01	1,01	0,29	-	-	3,96	0,21	0,15	6,32
32	0,09	3,45	1,86	20,83	3,79	-	-	1,31	7,38	1,75	40,44
33	0,02	0,58	0,09	1,76	0,28	-	-	1,25	0,48	0,51	4,97
Total 54/57	2,68	25,39	3,55	40,32	5,94	0,3	0,07	7,12	11,62	3,02	100

Tabla 4 - Tabulación cruzada de la variación de los usos del suelo en 1954/57 y 1994/96 (ArcViewTM)

5.3. Variación de usos del suelo aplicando el SIG IdrisiTM

Los SIG ráster permiten cruzar información de dos o más mapas temáticos y agruparlos en uno sólo, de manera más fácil y rápida que los de tipo vectorial. Debido a que uno de los objetivos del trabajo es conseguir una metodología para actualización y estudio evolutivo de mapas de usos, se ha realizado el mismo análisis explicado, pero aplicando un sistema ráster (IdrisiTM). Se utilizó el módulo *crossstab* de IdrisiTM, para cruzar la información de los usos del suelo en ambos períodos, pixel a pixel. Así se obtuvo el número de celdillas que cambiaron de uso y considerando todas las posibles combinaciones, y que el tamaño de pixel empleado fue 20x20 m, puede deducirse cuales son las superficies ocupadas por cada uso. En la tabla 5 se muestran los resultados, que son análogos a los obtenidos con el sistema vectorial.

Superficie (ha)										
Usos	1	2	4	5	6	7	31	32	33	Total 94/96
1	204,78	42,33	0,99	43,28	5,04	0,04	5,08	20,97	0,36	322,87
2	10,28	1.536,72	59,56	135,21	25,57	-	11,87	111,5	18,46	1.909,19
4	0,64	44,91	9,33	34,03	4,13	-	1,95	8,58	-	103,56
5	1,11	56,51	32,76	759,47	42,89	-	17,03	65,8	20,69	996,25
6	1,79	38,2	30,58	416,54	54,12	-	12,83	88,75	11,67	654,48
7	0,68	0,52	-	0,08	-	23,75	0,36	0,08	-	25,45
31	0,71	55,47	0,99	83,43	23,83	-	330,42	17,95	12,79	525,58
32	8,38	286,58	155,82	1.728,63	313,66	-	107,73	611,99	145,06	3.357,84
33	1,63	47,65	7,58	146,76	23,23	-	103,68	40,38	41,93	412,85
Total 54/57	229,99	2.108,88	297,62	3.347,43	492,47	23,79	590,94	965,99	250,96	8.308,07
Superficie de cada uso (%)										
Usos	1	2	4	5	6	7	31	32	33	Total 94/96
1	2,46	0,51	0,01	0,52	0,06	-	0,06	0,25	-	3,89
2	0,12	18,5	0,72	1,63	0,31	-	0,14	1,34	0,22	22,98
4	0,01	0,54	0,11	0,41	0,05	-	0,02	0,1	0	1,25
5	0,01	0,68	0,39	9,14	0,52	-	0,21	0,79	0,25	11,99
6	0,02	0,46	0,37	5,01	0,65	-	0,15	1,07	0,14	7,88
7	0,01	0,01	-	-	-	0,29	-	-	-	0,31
31	0,01	0,67	0,01	1	0,29	-	3,98	0,22	0,15	6,33
32	0,1	3,45	1,88	20,81	3,78	-	1,3	7,37	1,75	40,42
33	0,02	0,57	0,09	1,77	0,28	-	1,25	0,49	0,5	4,97
Total 54/57	2,77	25,38	3,58	40,29	5,93	0,29	7,11	11,63	3,02	100

Tabla 5 - Tabulación cruzada de la variación de los usos del suelo en 1954/57 y 1994/96 (IdrisiTM)

6. Discusión de los resultados

La variación cuantitativa y cualitativa de los usos del suelo, en ambos períodos de referencia se expresa en la tabla 6. A la vista de los resultados, puede deducirse la profunda transformación socioeconómica sufrida en el Municipio de Trabada (Lugo) ya que se aprecia el aumento de la explotación forestal (con eucalipto principalmente) a costa de zonas ocupadas por matorral. Por otro lado, también se diferencian zonas especializadas en la producción agraria dirigida a la alimentación ganadera.

Una de los logros de la metodología expuesta, es que permite realizar análisis temporales de variables geográficas con gran eficiencia y precisión. Los resultados pueden mostrarse en forma de tablas o mapas, y los SIG permiten realizar diferentes análisis de la información.

En el análisis comparativo de los modelos ráster y vectorial (tablas 4 y 5), puede observarse que las variaciones cuantitativas son prácticamente nulas. Cada sistema presenta ventajas e inconvenientes respecto al otro.

Las salidas gráficas del modelo vectorial son más cuidadas y las cifras de ocupación de usos son más precisas. En cambio el SIG ráster, es más eficiente realizando la superposición, permite la combinación de datos de usos con información del relieve (pendientes, orientaciones, altitudes, etc.) y cuenta con módulos de análisis temporal específicos.

Uso del suelo	Variación de superficie desde 1954/57 hasta		
	Hectáreas	% (1954 = 100)	Variación 54/96 (%)
Superficies artificiales	+84,13	137,82	+37,82
Zonas agrícolas	-198,60	90,58	-9,42
Pastizal	-192,05	34,94	-65,06
Matorral	-2.352,87	29,74	-70,26
Matorral arbolado	+162,07	132,85	+32,85
Cursos de agua	+0,62	102,55	+2,55
Otras zonas sin vegetación	+7,13	228,26	+128,26
Fronosas autóctonas	-66,75	88,72	-11,28
Zonas forestales	+2.394,48	348,15	+248,15
Bosque mixto	+161,85	164,46	+64,46

Tabla 6 - Dinámica en la evolución de los usos desde el período 1954 hasta 1996

7. Conclusiones

Las características intrínsecas de cada modelo, hacen que cada uno de ellos, se adapte mejor a determinados objetivos. Ambos modelos tiene aplicaciones a la cartografía asistida por ordenador, topografía, tratamiento de imágenes, etc. La conclusión más importante es que ambos modelos de SIG se complementan para mejorar la calidad de los resultados (precisión, datos estadísticos, presentación, etc.).

Las aplicaciones de los GIS vectoriales, se adaptan perfectamente a la generación de cartografía de usos del suelo, incluso permite análisis de la dinámica de usos del suelo; además la representación de los resultados es de gran calidad, tanto en la definición de los mapas temáticos, como en la valoración cuantitativa de los resultados.

Los modelos ráster se han utilizado tradicionalmente para inventario y ayuda en la gestión de los recursos naturales. Son los más eficaces a la hora de efectuar análisis de la dinámica de usos del suelo, ya que cuentan con módulos específicos para esta cuestión. En cuanto a la precisión cuantitativa de los resultados, apenas se aprecian diferencias con los modelos vectoriales, sobre todo cuando el tamaño del pixel es lo suficientemente detallado. Otra gran ventaja de los modelos ráster es que ofrecen la posibilidad de asociar los mapas temáticos con la fisiografía del territorio (pendiente, orientación, altitud, etc.).

8. Referencias bibliográficas

- [1] Bosque Sendra, J.; "Sistemas de Información Geográfica". Madrid (España): RIALP, 1992. ISBN: 84-321-3154-7.
- [2] Comas, D.; Ruiz, E.; "Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica". Barcelona (España): ARIEL, 1993. ISBN: 84-344-3452-0
- [3] Díaz Manso, M.; Docampo Bello, C.; Dorrego Taín, X.; 1996. "Mapa de usos do solo de Galicia escala 1:25.000". Santiago de Compostela (España): Boletín Informativo do SITGA, 1996. 2:5-9.
- [4] Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. "Indicadores Ambientales: una propuesta para España". Madrid (España): Ministerio de Fomento, 1996. ISBN: 84-498-0244-X
- [5] Sancho Comins, J.; Bosque Sendra, J.; Moreno Sanz, F.; "La Dinámica del paisaje: aplicaciones de un SIG ráster al ejemplo de Arganda del Rey en las vegas de Madrid". Madrid (España): Catastro, 18/10/1993, 2ª época año V:35-51.