Una revisión sobre las imágenes espaciales como fuentes cartográficas

J. J. Martínez Vega
Dpto. de Geografía. Instituto de Economía y Geografía (CSIC) y
Dpto. de Geografía. Universidad de Alcalá de Henares

RESUMEN

Este trabajo trata de difundir el papel que juegan las imágenes espaciales fotografías tomadas desde plataformas tripuladas e imágenes de satélite en la formación de grandes series de cartografía, tanto topográfico como temática. Se revisa la capacidad de las imágenes para la formación. de mapas de ocupación y usos del suelo, de vegetación, forestales, de cambios de hábitat y de aptitud de tierras. Se examina, asimismo, la relación entre las características técnicas de los sensores y los distintos niveles cartográficos de detalle: global-continental (i), nacional (ii), regional (iii) y subregional (iv).

PALABRAS CLAVE: Imágenes espaciales. Cartografía

ABSTRACT

The main purpose of this paper is to spread the rote played by the spatial imagery -photographs taken from manned platforms and images from satellites in the development of large cartographic series, topographic and thematic. It is looked over the power of these images for the elaboration of land coyer and land use maps, vegetation, forests, habitats changes and land suitability map. It is also cheeked the relationship between the sensors technical characteristics and the different cartographic levels of detail: global-continental (i), national (ii), regional (iii) and sub-regional (iv).

KEY WORDS: Spatial Imagery. Cartography

INTRODUCCIÓN

Es frecuente, en los planes de estudio de las licenciaturas de Geografía y de otras Ciencias de la Tierra, la existencia de asignaturas especializadas en las que se vinculan la fotointerpretación-teledetección a la cartografía temática. En ellas, las fotografías aéreas e imágenes espaciales son consideradas como útiles fuentes de información geográfica, susceptible, por tanto, de ser representada cartográficamente. Es más usual aún la conexión entre cartografía, por una parte, y teledetección y Sistemas de Información Geográfica, por otra, en múltiples cursos de post-grado y de tercer cielo universitario.

No obstante, a pesar de la proliferación de estos medios de formación en los que las imágenes son, en mayor o menor medida, protagonistas, los alumnos se enfrentan con una serie de carencias que dificultan el óptimo aprovechamiento de los conocimientos que se les transmite.

Aunque son probadas las aplicaciones cartográficas basadas en datos obtenidos desde plataformas espaciales, los alumnos desconocen buena parte de los grandes proyectos cartográficos del mundo y de nuestro entorno más inmediato. La escasa importancia que se otorga al repaso de las fuentes cartográficas disponibles y la edición de algunas series cartográficas en soporte exclusivamente digital. acaso sean algunas de las causas de tal desconocimiento.

En otras ocasiones, se trata de planes de estudio mal diseñados en los que se reserva escaso tiempo al entrenamiento de los alumnos en estas técnicas y métodos o que no preveen una secuencia lógica de asignaturas, desde las básicas a las más especializadas.

Las imágenes espaciales pueden ser consideradas bajo dos aspectos. Como soporte de información es frecuente observar la representación de un tema dado (fronteras y atributos de polígonos de ocupación del suelo, unidades de paisaje, unidades-tierra, etc) sobre la imagen. Al ser ésta un documento sintético puede, incluso, sustituir al propio mapa.

Sin embargo, no es esta faceta la que quiere transmitirse al lector. En este trabajo, se prefiere explotar la vertiente de aquéllas como fuentes.

La Fig. 1 muestra los grandes conjuntos de fuentes que son tenidos en cuenta por el cartógrafo para la construcción de los mapas, tanto básicos como temáticos. Su empleo no es excluyente sino más bien complementario de forma que en la elaboración de una carta, en la mayoría de las ocasiones, no se utiliza tan sólo una. Entre éstas, hay autores que consideran asimismo las encuestas cualitativas y descripciones literarias (antiguos catastros). No hay duda; no obstante, las referencias geográficas contenidas en ellas suelen ser ambiguas e imprecisas, por lo que los resultados de la especialización de los datos estarán más cercanos a los croquis que a los mapas propiamente dichos. Entre todas las fuentes cartográficas mencionadas destacan, con

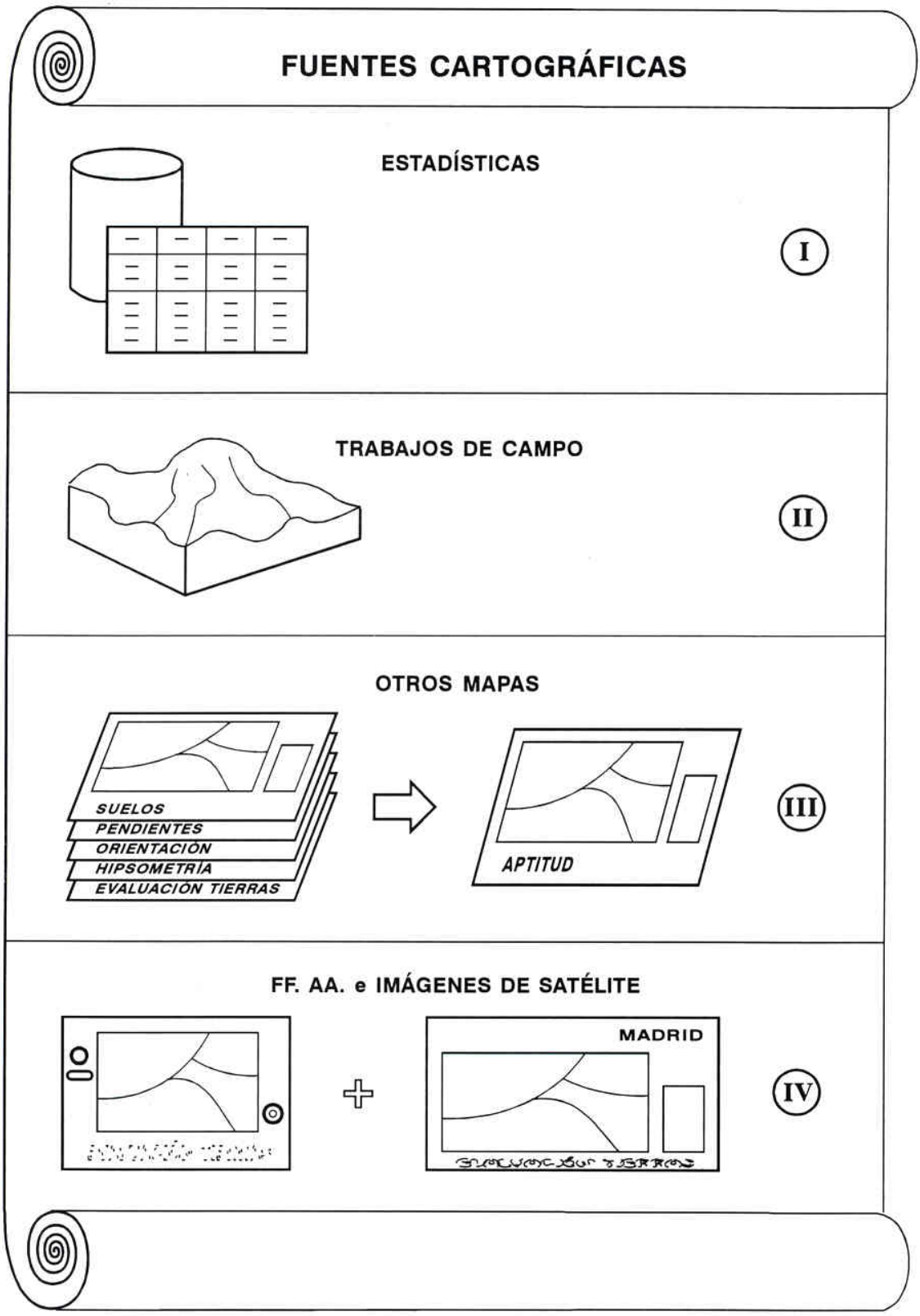

Fig. 1.- Fuentes de la cartografía

mérito propio, las fotografías aéreas desde el siglo pasado y, más recientemente, las imágenes espaciales. Su explotación junto a la consulta de otras fuentes para contrastar interpretaciones o validar su precisión, han dado, dan y darán lugar a la ejecución de múltiples series cartográficas en todo el mundo y a todas las escalas. Sinopsis y síntesis, gran cobertura

Entre todas las fuentes cartográficas mencionadas destacan, con mérito propio, las fotografías aéreas desde el siglo pasado y, más recientemente, las imágenes espaciales. Su explotación junto a la

consulta de otras fuentes para contrastar interpretaciones o validar su precisión, han dado, dan y darán lugar a la ejecución de múltiples series cartográficas en todo el mundo y a todas las escalas. Sinopsis y síntesis, gran cobertura espacial y temporal, condiciones de iluminación más homogéneas, menores distorsiones geométricas y facilidad de conectarse directamente con SIGs y con sistemas de cartografía automática son algunos de los atributos que caracterizan a las imágenes espaciales y que avalan la idoneidad de su empleo en aplicaciones cartográficas multitemáticas y multiescala. La construcción de cara temáticas a partir de la fotointerpretación o del tratamiento digital de las imágenes captadas desde plataformas espaciales es la vía más probada y de todos conocida. Sin embargo, también es posible explorar la senda del levantamiento de mapas de base a partir de pares de ortofotomapas u ortoimágenes. Tanto la actualización de planimetría como la obtención de modelos altimétricos pueden ser derivados de imágenes espaciales mediante métodos de estereocorrelación.

Bien es cierto que para ello es necesario disponer de imágenes estereoscópicas, poco frecuentes en el amplio abanico ofertado actualmente. Es sabido que la mayor parte de las imágenes recibidas desde el espacio poseen un solape lateral insuficiente, del 14% aproximadamente. Excepciones son el sensor óptico-electrónico HRV de SPOT y una variada colección de sensores fotográficos (cámaras Earth Terrain Camera, MKF 6, métrica-RMK de gran formato-LFC y las más recientes cámaras rusas MK-4 y KATE-200). Viajan a bordo de plataformas tripuladas, estaciones, espaciales y satélites (Skylab, Soyuz, Salut, Space Shuttle y Resours-F2 y F1). Son capaces de obtener observaciones de alta resolución espacial entre 20 y 2m-con solape igual o superior al 60%.

Los países que poseen mayores recursos prefieren emplear vuelos fotogramétricos de baja altura para mantener actualizadas sus colecciones cartográficas de escalas más grandes, cuando el volumen de cambios es elevado. No obstante, la situación de la cartografía mundial es crítica. El Prof. Núñez de las Cuevas (1984) acostumbra a hacer hincapié en la escasa cobertura cartográfica topográfico de detalle y semidetalle (Norteamérica, Europa y Japón) y del escaso ritmo de actualización de las series (3% anual), situación denunciada constantemente por las autoridades de organismos internacionales (ONU, FAO, UNESCO). Por ello, en los países de menores recursos económicos, en los que es frecuente la carencia de coberturas cartográficas nacionales de escalas superiores a 1/200.000, el empleo de imágenes espaciales estereoscópicas para cubrir esta laguna es de sumo interés, entre otras, para las tareas de planificación del eco-desarrollo[1]. En este supuesto práctico, una aproximación al estudio comparativo de costes entre estereogramas aéreos y las propias imágenes es ilustrativo. Algunos datos significativos indican que los pares estereoscópicos SPOT son relativamente gravosos para este cometido[2] frente a un precio más contenido de las fotografías aéreas[3] o de los estereogramas espaciales[4] Estos datos refuerzan la viabilidad del empleo de estas fuentes en aplicaciones cartográficas en países en desarrollo.

A continuación, con objeto de ilustrar la aplicabilidad real de lo comentado se revisarán tan sólo algunos ejemplos de trabajos cartográficos de grandes espacios geográficos que sirvan de referencia a profesores, alumnos y jóvenes investigadores. No es nuestra intención hacer un inventario exhaustivo de casos sino tan sólo mencionar algunas muestras. Renunciamos, en esta ocasión, al nivel local ya que sería imposible referenciar las innumerables experiencias científico-técnicas desarrolladas y publicadas en diferentes medios de comunicación. Además, los resultados de las mismas, en ocasiones, son difícilmente extrapolables a la realidad geográfica y diversidad ambiental de amplios y complejos territorios nacionales o supranacionales.

PROYECTOS DE CARTOGRAFÍA BÁSICA APOYADA EN DATOS TELEDETECTADOS

En el campo de aplicación de la teledetección a la cartografía topográfica se lleva trabajando con interés desde comienzos de la carrera espacial.

Desde el lanzamiento de las primeras plataformas espaciales tripuladas -Mercury, Gemini y de los programas subsiguientes -Apollo, Skylab- la NASA se interesó por evaluar la capacidad de las fotografías espaciales para la construcción de ma-

[1] Existe coincidencia de criterios entre diversos representantes de Países en vías de desarrollo que participan en debates de cooperación y transferencia de tecnología respecto a la conveniencia de coordinación entre agencias productoras de cartografía y centros de Teledeleed6n para generar la cartografía de base de escalas comprendidas entre 1/50.000 y 1/100.000, inexistente o inacabada.

[2] Según datos del distribuidor de productos SPOT en España, el coste de un par estereoscópico SPOT en modo pancromático es de 198 ptas/Km en el supuesto de que la imagen pedida se encuentre en catálogo.

[3] El coste aproximado de fotografías aéreas, con solape del 60%, en modo pancromático, a una escala 1/30.000 es aproximadamente de 28 ptas/km^2

[4] Según datos de Heric y Lucas (1989) el precio aproximado de las fotografías obtenidas con la cámara de gran formato (LFC), con solape lateral del 80% y una re-solución espacial de 20 m, es inferior a 1 pta/km^2. Según datos de WoldMap (Mayo de 1993) el coste de fotografías espaciales de la cámara MK-4, con solape del 60% o, resolución espacial de 8 m. y soporte digital es inferior a 10 ptas/Km^2 y el de los datos digitales obtenidos por la cámara KATE-200, con solape del 60% y resolución de 20 m es menor de 4 ptas/km^2

pas de escalas pequeñas, diseñando diversos experimentos científicos (Núñez de las Cuevas, 1984). Sin embargo, de acuerdo con Amsbury (1989), el programa del transbordador Space Shuttle marcó una nueva etapa a comienzos de la década de los años 80.

Durante la misma, la situación mundial de la cartografía y el desarrollo de la Teledetección espacial indujeron al ensayo de nuevas cámaras fotográficas y barredores de empuje sin partes móviles, capaces de explorar el terreno con mayor resolución espacial, estabilidad y fidelidad geométrico, manteniendo las observaciones en modo estereoscópico con objeto de satisfacer la necesidad de levantar cartografía básica a las escalas indicadas.

Algunos ensayos-piloto se sucedieron rápidamente. En esta línea, uno de los primeros se llevó a cabo sobre las fotografías captadas por la cámara métrica RMK 30/23 a bordo del Spacelab de la ESA, puesto en órbita por el Space Shuttle en 1983. Para alcanzar los objetivos encomendados a la misión, Togliatti y Moriondo (1984) restituyeron imágenes tomadas sobre el Norte de Italia para evaluar las posibilidades de su aplicación a cartografía topográfico. Se demostró su elevada calidad métrica y su aceptable precisión altimétrica por lo que resultaron ser, documentos viables para la obtención de mapas 1/50.000 con buenos puntos de apoyo.

Otros experimentos fueron desarrollados, de forma paralela, en Estados Unidos Newton y Derenyi (1986), después de comprobar la precisión planimétrica y altimétrica, emplearon fotogramas de gran formato (23 cm x 46 cm) para diseñar mapas topográficos de escala 1150.000 con curvas de nivel equidistantes a 75 m Técnicas de aerotriangulación asistidas por ordenador fueron utilizadas.

Siguieron otros trabajos en los que se utilizaron estereopares SPOT. En el 16º Congreso de la ISPRS en Kyoto (1988), Spot Image presentó una perspectiva oblicua de la ciudad japonesa desde el NE. El Modelo Digital de Elevaciones que soportaba el bloque diagrama fue derivado a partir de dos imágenes Spot en falso color, de escala 1:100.000, tomadas desde dos órbitas sucesivas. El curvado resultante poseía una equidistancia de 20m para las isohipsas intercalares y de 100m para las maestras.

Otras experiencias pioneras, a comienzos de 1981, fueron llevadas a cabo por el Instituto Geográfico Nacional español en Guinea Ecuatorial (García Cogollor et al., 1983). Conocidas son las dificultades de reconocimiento de los sensores pasivos en latitudes intertropicales por la persistencia de la cobertura nubosa. Por ello, fue empleado un sensor activo, un radar de apertura lateral, aerotransportado para ganar resolución espacial.

Plataformas y sensores alternativos, menos precisos para aplicaciones de cartografía topográfico, fueron probados de forma paralela. Significativos proyectos piloto (Denegre, 1988) se han desarrollado en otros países con similar objetivo: completar las lagunas de cartografía básica existentes en su repertorios. De entre todas ellas, destacamos la prueba ejecutada en Argelia por el Instituto Nacional de Cartografía de ese país y el Instituto Geográfico Nacional francés mediante el empleo combinado, en esta ocasión, de datos LANDSAT-MSS y estereogramas de escala 1/60.000. Los primeros aportan la información planimétrica mientras que los segundos, previa aerotriangulación y restitución, son las fuentes de la altimetría de los mapas. Una ortoimagen en falso color (infrarrojo cercano/rojo/verde=R/G/B) de escala 1/200.000, anotada y rotulada con la planimetría básica (núcleos de población, vías de comunicación, hidrografía) y la altimetría (curvas de nivel con equidistancia de 50m y puntos, acotado) sobreimpresas es el resultado. Excelente expresividad de los paisajes desérticos y actualización son algunas de sus virtudes. Frente a ellas, los inconvenientes más destacados son el elevado coste y tiempo invertido como consecuencia de no sustituir totalmente el empleo de métodos y fuentes convencionales. Dados los buenos resultados del prototipo, el plan pretendía extender la metodología a una amplia área desértico del Sahara argelino (20 hojas más de escala 1/200.000).

Análoga experiencia es el más reciente proyecto de levantar la cartografía topográfico de áreas venezolanas de difícil acceso (Cuenca del Orinoco), a escala 1/100.000 (Arbiol et al., 1994), auspiciado por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia. En él intervienen varias agencias cartográficas (Cartografía Nacional de Venezuela, Institut Cartográfic de Catalunya, Instituto Geográfico Nacional de España y US Geological Survey). Este plan se basa en datos de satélites, tanto imágenes de recursos naturales (LANDSAT-TM) como datos de posicionamiento (GPS), y en fotografías aéreas, infrarrojas, en blanco y negro, de elevada altura de vuelo (E:1/70.000). El Modelo Digital de Elevaciones se obtiene mediante estereocorrelación automática, con un paso de malla de 75m y un error medio cuadrático de 12m. La eficacia de esta metodología, probada sobre una hoja de escala 1/100.000, está siendo chequeada con objeto de calibrar su posible extrapolación a otras zonas semejantes.

Para minimizar la intervención de fuentes y métodos clásicos, disminuyendo costes y tiempo, algunos proyectos pretenden en lo sucesivo, hacer uso de pares estereoscópicos SPOT sometidos a procesos cartográficos automáticos.

Por último, cabe reseñar múltiples iniciativas de agencias cartográficas internacionales (IGN francés, USGS, Servicio Geográfico de Kenia; cfr. Denègre, 1988) en las que se emplean ortoimágenes de satélite (LANDSAT-MSS o TM, SPOT e incluso NOAA-AVHRR), no tanto para formar las

minutas de los mapas de base sino como fondo documental de apoyo de la cartografía topográfico ya existente, proporcionando una imagen complementaria del territorio. De forma paralela, algunos países (Kenia, Mali) aprovechan estos nuevos documentos y fotografías espaciales (Estados Unidos; cfr. Núñez de las Cuevas, 1984) para revisar sus antiguas series cartográficas de pequeña escala e, incluso, de semidetalle (1/100.000 y 1/50.000) en coberturas parciales de las áreas más dinámicas.

El propio Instituto Geográfico Nacional español tiene el propósito de emplear los nuevos recursos tecnológicos a su alcance para poner al día la planimetría de las series cartográficas de base, de escalas medias (mapa provincial 1/200.000) y grandes (1/50.000 y 1/25.000) a partir de imágenes LANDSAT-MSS y SPOT, respectivamente (Arozanena et al., 1989).

CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DERIVADA DE IMÁGENES ESPACIALES

Anteriores publicaciones han abordado ya este tema (Denegre 1988; 1994; Núñez de las Cuevas y López Vizoso, 1989), relacionando experiencias concretas en diversos países del mundo o aportando referencias bibliográficas. La originalidad de este artículo creemos que radica en actualizar los trabajos mencionados, presentando tan sólo aplicaciones cartográficas de rango regional o superior en temas plenamente operacionales, circunstancia que de muestra claramente la validez de estas fuentes en cartografía. En este repaso, un recorrido desde el nivel global-continental hasta el regional y, por tanto, desde las escalas pequeñas a las de semidetalle nos servirá de hilo conductor.

Nivel Global-Continental

Desde hace unas décadas se hace más patente la necesidad de estudiar la Tierra en su globalidad como consecuencia de procesos degradativos de alcance planetario. El alarmante incremento de emisiones de dióxido de carbono, azufre o gases fluorocarbonados, la contaminación de corrientes fluviales transnacionales o de mares de difícil autodepuración, frecuencia de marcas negras, deforestación del bosque tropical o desertificación de tierras en latitudes mediterráneas son tan sólo algunos de los procesos de cambio global que inquietan al hombre y que evidencian la compleja interrelación de factores naturales y socioeconómicos.

Consecuencia de dicha necesidad es la celebración de cumbres internacionales para estudiar y decidir sobre estos problemas ambientales o la promoción de programas mundiales de investigación científica. Entre éstos queremos remarcar el interés de la investigación sobre cambio global llevada a cabo por el International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP). En el marco del mismo, se considera que los actuales datos cartográficos disponibles en el mundo sobre ocupación del suelo no se adecúan., normalmente, a los variados requerimientos de los modelos globales, ya sean ecológicos, hidrológicos, meteorológicos o de circulación general de la atmósfera. Según los expertos, los datos de ocupación del suelo óptimos para los estudios globales deben reunir, entre otras, las siguientes condiciones: (i) datos de intermedia resolución espacial y buena resolución temporal (multiestacionales y multianuales), (ii) esquemas de clasificación flexibles para adecuarse a aplicaciones específicas, (iii) permitan procedimientos analíticos sistemáticos, (iv) posibiliten interpretación biofísica y (v) aseguren seguimiento y extrapolabilidad.

Pues bien, el trabajo de Loveland et al. (1995), al decir de sus autores, se ajusta a esta filosofía. En él se muestra un prototipo de base de datos digitales, georreferenciados y multinivel de Estados Unidos, disponible en CD-ROM para todos, aquellos que quieran adquirirla[5]. Incluye, además, datos cartográficos auxiliares del conjunto de Estados Unidos (índices de vegetación de diferencias normalizadas multitemporales, capacidad de las tierras, ecorregiones, elevaciones, cuerpos de agua, ocupación y usos del suelo, períodos libres de heladas, límites administrativos, atributos del período vegetativo) y una gran variedad de datos estadísticos.

Uno de los productos cartográficos experimentales, derivados de la base de datos, es un *mapa de ocupación del suelo de Estados Unidos* (más, de 9 millones de km^2) que tiene en cuenta las ecorregiones, la estacionalidad de especies vegetales y cultivos y condicionantes biofísicos críticos para caracterizar cada región de ocupación del suelo. Se ha empleado una aproximación sintética para definir regiones homogéneas, consideradas como una forma especial de clasificación o segmentación.

La fuente básica de información ha sido un conjunto de imágenes NOAA-AVHRR de alta resolución espacial, adecuado a la escala de representación y a las dimensiones del territorio observado. Es conocido el equilibrio de esta fuente entre los objetivos de la investigación sobre el cambio global y la frecuencia de observación y coste.

El tamaño del pixel fue remuestreado a 1 km Se generaron imágenes compuestas de NDVI cada período quincenal a lo largo de ocho meses, corregistradas y relacionadas con los datos auxiliares antes mencionados. Mediante una clasificación no supervisada se detectaron inicialmente 70 clases. Posteriormente, una reclasificación subdividió clases con perfiles estacionases de NDVI similares pero con componentes vegetativos distintos.

[5] Para obtener información adicional, debe contactarse con el USGS/EROS Data Center, Sioux Falls, SD 57198.USA

La carta ha sido impresa en soporte de papel, en color, a escala 1/7.500.000. Un total de 159 clases, agrupadas por regiones, son mostradas en la leyenda. No se ha recurrido a las tramas para representar gráficamente cada categoría. El color y el brillo/matiz -más oscuro cuanta mayor producción primaria anual son las variables visuales empleadas.

En el reverso otros mapas auxiliares acompañan al principal. Las 159 clases han sido agrupadas en 26 según el nivel II del esquema de Anderson et al. (1976), dando lugar a un *nuevo mapa de ocupación del suelo de Estados Unidos,* de escala 1/10.000.000. Otros 25 croquis muestran la distribución de la duración del período vegetativo, del comienzo del período vegetativo mes a mes y del máximo de verdor mensual.

Evaluadas las ventajas que proporciona la base de datos expuesta (extrapolabilidad, flexibilidad e informatización de los procesos) se está trabajando actualmente en la aplicación de esta metodología a una *cartografía similar a escala global,* continente por continente. Un consorcio entre el USGS, NASA, NOAA, ESA y el International Geosphere-Biosphere Programme está desarrollando series temporales de datos NOAA-AVHRR de 1 km^{-2} de resolución espacial, a nivel global. A finales de 1995, se esperaba disponer de la *base de datos del continente americano* (más de 42 millones de km^2), basándose en trabajos previos (Loveland et al., 1995 en Estados Unidos, Palko, 1990 en Canadá y Stone et al., 1994 en Sudamérica).

En Iberoamérica se desarrolla *el proyecto PANAMAZONIA* con objeto de conocer y controlar el proceso de deforestación de la selva tropical Participan los países incluidos en la cuenca hidrográfica del Amazonas (algo más de 7 millones de km^2) u cartografía, producida a escala 1/250.000, se basa en el análisis visual de imágenes multianuales LANDSAT-MSS de acuerdo a una leyenda jerárquica de dos niveles, adaptando el segundo a la presencia de cubiertas singulares en cada país. El período observado está centrado en torno a los últimos 15 años. Imágenes de comienzos de los años 80 y de finales de la misma década o inicios de los 90 sirven para establecer tendencias o cartografiar los cambios producidos.

En otros continentes se han desarrollado experiencias relativamente similares. Así en África, son reseñables dos trabajos a nivel continental (cerca de 30 millones de km). Tucker et al. (1985) emplearon datos multitemporales NOAA-AVHRR, con resolución de 4 km ,para cartografiar las *masas vegetales principales y los cambio, fenológicos* producidos en un período de 19 meses, entre 1982 y 1983.

Por otra parte, el Remote Sensing Center de la FAO está ocupado en la elaboración de la *cartografía de ocupación y uso del suelo de África* (di Gregorio, 1991) para facilitar la planificación y la gestión de recursos. El proyecto se basa en datos NOAA-AVHPR, aún cuando se considera el empleo combinado de multidatos provenientes de otras fuentes (cartografía temática, otras imágenes, fotografías aéreas e informes), gestionados por un SIG. Diversas escalas y métodos son tenidos en cuenta para abordar la cartografía a nivel supranacional-nacional (1/1.000.000 y 1/500.000; tratamiento digital) y regional (11200.000; interpretación visual). La leyenda necesariamente es jerárquica para adecuarse a los niveles previstos. Cuatro grandes equipos temáticos (intérpretes, cartógrafos, unidad de SlGs y unidad de muestreo y recogida de datos en campo) se reparten la ejecución de las tareas, agrupadas en ocho fases.

En el continente europeo, la UE encargó un informe al Grupo para el Desarrollo de la Teledetección Aeroespacial de nuestro país vecino (GDTA, 1982). Se debían indagar las posibilidades operativas de desarrollar la cartografía de la ocupación del suelo a partir de datos captados por satélites. El estudio se centro en el País de la Loire (32.082 km) aunque al resto de las regiones comunitarias. Una imagen monotemporal LANDSAT-MSS fue clasificada digitalmente mediante una estrategia no supervisada, agrupando los píxels en 12 categorías finales.

Después de este precedente, surgió *el programa CORINE,* auspiciado por la DG-XI de la UE. Su objetivo prioritario fue la creación de un Sistema de Información Geográfica de los países miembros (2.364.400 km^2, UE-12), con especial referencia a la problemática ambiental y al inventario de los recursos naturales. Entre los ocho proyectos en los que se estructuró el programa *CORINE, Land Cover* constituye el nivel de información sobre la ocupación biofísica del suelo y, en algunos casos, sobre los usos que el hombre hace de aquél. Se tuvo en cuenta que la información derivada debía presentarse en formato cartográfico digital con objeto de crear una base de datos vectorial de usos y cubiertas del suelo.

Tras la aprobación del mismo por la Comisión de las Comunidades Europeas en 1985, se iniciaron una serie de experiencias-test en 10 áreas de entrenamiento de unos 2.500 km^2 cada una. Su desarrollo sirvió para poner a punto una metodología común, evaluar el coste de diversas estrategias propuestas y perfilar una nomenclatura común a todos los países miembros. En la Península Ibérica el área-piloto elegida fue la región transfronteriza Andalucía-Algarve, estudiada por ambas administraciones regionales (Moreira et al., 1986).

Durante 1988 y 1989 fué acordada una metodología uniforme para la realización del proyecto a nivel europeo[6]. Las imágenes de satélite son las fuentes de información principales. LANDSAT-

[6] Una relación detallada de la misma puede consultarse en los minuciosos trabajos de López Vizoso (1989), Sancho (1988-89) y Heyman (1993)

MSS (Portugal y Luxemburgo), LANDSAT-TM (España) y SPOT-HRV (Francia) son algunas de las variaciones introducidas a nivel nacional. No obstante, en todos los casos se prevé el empleo de variadas fuentes auxiliares (cartografía topográfico, temática, fotografías aéreas, inventarios, informes y trabajos de campo) como apoyo en la interpretación de las imágenes.

El método empleado es, fundamentalmente, el análisis visual de las imágenes aunque, ocasionalmente, puede complementarse con consultas en pantalla. En estos casos, se puede recurrir a técnicas digitales-realces, nuevas combinaciones de color, índices de vegetación o componentes principales- para realzar un sector de la imagen con vistas a optimizar la interpretación.

Una leyenda de 44 clases, estructurada jerárquicamente en tres niveles, es común a todos los territorios. Cada país puede desarrollarlos, desagregando las clases genéricas.

En la actualidad, el programa CORINE ha pasado a ser gestionado por la Agencia Europea de Medio Ambiente. El proyecto *CORINE-Land Cover* se extiende con vistas a alcanzar dimensión continental e incluso macrorregional. Los costes principales los soporta la UE aunque recibe apoyos financieros de otras instituciones internacionales (Banco Mundial).

En el este europeo, Polonia, Hungría, Eslovaquia y la república Checa tienen la cartografía de ocupación del suelo muy avanzada, siguiendo las directrices metodológicas marcadas por el programa.

En la cuenca del Mediterráneo, el proyecto *MEDSPA-MEDGEOBASE* se encarga de desarrollar esta serie cartográfica en los países ribereños no comunitarios. El grupo *EUROMED,* formado por el Instituto Geográfico Nacional español, IGN francés, CNIG portugués y Telespazio, dirige la ejecución cartográfica en estos países. En concreto, el IGN español se ha responsabilizado de la ejecución del proyecto en Marruecos y comenzará su actuación en Túnez.

Desde sus inicios, el proyecto contempla la posibilidad/necesidad de actualizar los datos en períodos quinquenales con objeto de prestar el servicio que demanda la sociedad en general. Actualmente, la UE ha creado centros temáticos entre los que se encuentra el European Topic Center-Land Cover, encargado de estudiar la metodología para efectuar la puesta al día de la base de datos *CORINE-Land Cover.* El Institute Remote Sensing Center del JRC y el IGN español colideran esta actividad. En este momento, ya existe un prototipo que incorpora diversas soluciones para alcanzar el mayor grado de automatismo en las tareas de actualización cartográfica y alfanumérica.

Escala nacional

En el desarrollo del proyecto *CORINE-Land Cover* a nivel nacional, los países miembros han mostrado actitudes muy dispares. Así, mientras Portugal, Luxemburgo y España han completado y/o revisado su cartografía, o se encuentran en fase muy avanzada de ejecución (la mayor parte), otros países -Gran Bretaña, Suecia y Finlandia- apenas han iniciado los trabajos.

España fue el primer país comunitario de grandes dimensiones (505.000 km^2) que terminó su cartografía de ocupación del suelo, siguiendo las directrices apuntadas. Los grupos españoles de fotointerpretación, coordinados por el Instituto Geográfico Nacional, emplearon ortoimágenes LANDSAT-TM de escala 1/100.000, del año 1987, en falso color (4/5/3=R/G/B). A nivel nacional, se amplió la nomenclatura a 5 niveles (64 categorías) con objeto de incluir las cubiertas singulares de su dominio (vegetación macaronésica, p.ej). Un muestreo aleatorio simple sobre 192 puntos en cada imagen sirvió para calcular la fiabilidad por clases y global de la interpretación. Las minutas (polígonos fronterizos y códigos temáticos) fueron digitalizadas y preparadas para formar el *mapa de ocupación del suelo de España, a* escala 1/100.000, siguiendo la distribución de hojas topográficas de similar escala, serie IC, del Servicio Geográfico del Ejército. Los resultados finales son comercializados por el Centro Nacional de Información Geográfica en soporte magnético [7].

Gran Bretaña se encuentra entre los países, que apenas han iniciado el proyecto *CORINE-Land Cover.* La causa, quizás, radique en la existencia previa de otras series cartográficas de mayor escala, ajustadas a otros planteamientos, o en el desarrollo de otra serie cartográfica propia, similar temáticamente pero concebida de forma distinta. En este último caso, nos referimos al *Land Cover Map of Great Britain* (229.990 km), interpretado por el Institute of Terrestrial Ecology (Fuller et al., 1990). Las imágenes LANDSAT-TM son tratadas digitalmente, centrándose en áreas-test de 1 km^2 distribuidas aleatoriamente. Sobre cada una de ellas se dispone de abundante información exógena -reconocimientos de campo, fotografía aérea, cartografía de apoyo y modelos topográficos digitales. La leyenda contempla 25 clases organizadas jerárquicamente (Wyatt, 1992). El estudio se basa, fundamentalmente, en la detección de las principales cubiertas biofísicas del terreno en las áreas-piloto y de su inventario. La expansión al conjunto global del territorio es calculada mediante estimación.

[7] El coste aproximado de una hoja 1/100.000 co 5 niveles de información, del Mapa de Ocipación del Suelo de España es de 30.000 ptas. El variado abanico de formatos garantiza su lectura por los paquetes de software más estándar (CNIG. Gral Ibáñez de Ibero, 3 28003 Madrid)

Complementariamente, existe un programa de detección de cambios producidos durante los últimos sesenta años. Para ello, el *mapa de ocupación del suelo de Gran Bretaña 1930,* basado en fotointerpretación de estereogramas, es comparado con los resultados obtenidos de las imágenes de satélite actuales, almacenando los cambios observados en un SIG.

En Italia, ante la diversidad de cartografía temática relacionada con el mundo vegetal (mapas forestales, de vegetación y usos del suelo a escalas regionales y locales), se planteó la homogeneización de las series temáticas nacionales, a comienzos de los años 80. En el marco del programa Biomasa y Agricultura del Consiglio Nazionale delle Ricerche, surgió la idea de efectuar la *Carta della Copertura Boschiva* de todo el país (301.302 km^2) a escala 1/100.000 y su inventario correspondiente (Bagnaresi y Vianello, 1995). Para ello, se diseñó una leyenda jerárquica de dos niveles. El primero consideraría las formaciones y el tipo de gestión de las masas forestales y el segundo tomaría en cuenta el criterio del grado de densidad de las cubiertas.

Ante la dificultad económica y temporal de ejecutar el proyecto basándose exclusivamente en fotografías aéreas (pancromáticas, de escala 1/33,000) y trabajos de campo, se estudió la viabilidad de emplear imágenes LANDSAT-TM (verano de 1984 y 1985) como documentos básicos, apoyados en aquellos.

Exhaustivos trabajos de fotointerpretación fueron ensayados sobre áreas muestrales de 50 km^2 con objeto de caracterizar bien las firmas espectrales de, cubiertas significativas y de correlacionar los datos. Una vez seleccionadas las ventanas más representativas de cada cubierta como áreas de entrenamiento se procedió a una clasificación supervisada de máxima verosimilitud, por unidades de paisaje, sobre las imágenes corregidas geométrico y radiométricamente.

La metodología ha sido experimentada en diversas regiones forestales italianas (Apeninos, Campania). A su término, se valoró la validez del procedimiento en áreas más extensas y variadas. Los primeros resultados apuntaron a la viabilidad de ejecutar el proyecto a escala 1/100.000 con imágenes TM e, incluso, de desarrollarlo a escala 1/50.000 mediante el empleo de multidatos, especialmente de imágenes multitemporales SPOT-HRV.

Otro proyecto complementario es el desarrollo de *la cartografía de usos del suelo de Italia,* a escala 1/100.000, apoyada en una leyenda de 3 niveles y 31 clases. Se prevee el empleo combinado de métodos y fuentes para cada nivel, desde el tratamiento digital de imágenes TM (nivel I y II) hasta clasificaciones multitemporales y multidatos, apoyadas en fotointerpretación de detalle (nivel III).

Por último, cabe señalar el interés de almacenar, ordenadamente, toda la información geográfica en un Sistema de Información Territorial nacional para el estudio de las unidades de paisaje y la detección de las modificaciones temporo-espaciales habidas en la cobertura vegetal.

A finales de los años 80, la Canadian International Development Agency desarrolló., en Camerún (470.200 km^2, un proyecto de cooperación que pretendía actualizar el *mapa de usos del suelo de 1976,* de escala 1/1.000.000, interpretado a partir de imágenes LANDSAT-MSS en falso color. Este país es considerado un escenario ideal (variedad de regiones bioclimáticas) para probar la idoneidad del método (Rivard et al., 1990).

El nuevo producto, *el mapa de usos del suelo de Camerún,* de escala 1/200.000, se apoya en la fotointerpretación de imágenes LANDSAT- TM en falso color (4/5/3=R/G/B) mediante el sistema PROCOM. Las transparencias TM son proyectadas sobre un mapa de base de escala similar para su examen visual simultáneo. La serie consta de un total de 43 hojas de escala 1/200.000. La leyenda se estructura en un total de 8 grandes clases, divididas en 55 subclases de acuerdo a criterios ecoflorísticos.

Nivel regional

En este estrato es tradicional el interés de las administraciones regionales por el conocimiento directo (cartografía e inventarias) de los recursos con los que cuentan y deben gestionar. Por ello, es frecuente su inclinación a producir o actualizar series cartográficas de usos del suelo, forestales, de vegetación o de otros temas, a escalas de semidetalle. Durante las últimas décadas, algunas agencias regionales han demostrado la viabilidad de emplear imágenes de satélite para estos fines. A pesar de la variedad de experiencias, todas ellas persiguen un objetivo común: ahorro de recursos económicos y menor inversión de tiempo en la ejecución de las series cartográficas basadas en estas fuentes.

En la provincia canadiense de British Columbia (947.800 km^2), el B.C. Ministry of Forest manda actualizar anualmente el *inventario forestal de la provincia* que consta de una base de datos vinculada a 6.600 hojas cartográficas de escala 1/20.000. Inicialmente los datos fueron levantados mediante fotointerpretación de estereogramas pancromáticos, trabajos de campo y restitución manual.

Su actualización, para que sea operativo y menos gravosa económicamente, debe ser planteada en otros términos metodológicos. Por ello, se han ido ensayando diversos procedimientos durante los últimos años (Pilon y Wiart, 1990). Las fotografías aéreas de pequeña escala han dado paso a las imágenes LANDSAT-TM en falso color (4/5/3=R/G/B). Las imágenes están corregidas geométrico y radiométricamente sobre un soporte

transparente que permite la interpretación manual de aquéllas en comparación con mapas de base, mediante el sistema PROCOM y, sobre todo, la identificación de cambios, cotejando las imágenes con el primer mapa forestal. Los cambios son almacenados digitalmente.

Actualmente, se emplean técnicas de tratamiento digital de imágenes y de CADISIG en la actualización cartográfica. Las ortoimágenes corregidas están ajustadas a cada hoja 1/20.000. Una vez recibidas del Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), se visualizan en un monitor. Sobre cada una de ellas, se superpone el fichero vectorial que contiene los polígonos y atributos del mapa forestal correspondiente. El operador interpreta visualmente los cambios producidos y procede a dibujar manualmente sobre la pantalla cada uno de ellos, almacenándolos en niveles distintos de la base de datos, según la naturaleza de los mismos.

Futuros desarrollos centran su atención sobre las imágenes registradas desde sensores multiespectrales aerotransportados y sobre las técnicas automáticas de detección de cambios.

Hacemos un paréntesis para llamar la atención de las vías operativas abiertas para la futura actualización del *nuevo mapa forestal de España a* escala 1/50.000, dada la analogía del proyecto con el de la provincia canadiense. El excelente mapa forestal español se está desarrollando mediante técnicas convencionales de fotointerpretación de estereogramas, apoyado en exhaustivos trabajos de campo (Villaescusa et al., 1995). La información es transferida a mapas de base y almacenada en soporte digital. En futuras actualizaciones, aunque es sabido que esta carta contiene un gran volumen de información que se obtiene fundamentalmente de campo, las imágenes de satélite pueden ser útiles fuentes para detectar inicialmente las manchas forestales que han sufrido cambios importantes, estratificando la investigación de campo.

En la vecina provincia canadiense de Alberta (661.190 km^2), la Land Branch of Environment Canada experimentó las posibilidades del análisis visual de imágenes LANDSAT-TM, registradas en 1986, para cartografiar los *cambios de usos agroforestales* (roturaciones, abandono de tierras agrícolas, etc).

La comparación de estos documentos de base con *el mapa de usos del suelo del Canada Land Inventary (CLI),* a escala 1/50.000, de, 1966, permitió delinear las unidades-tierra que han sufrido un cambio de usos entre las fechas de referencia (Rivard et al., 1990). Cerca de 30 clases de cambio fueron cartografiadas la comparación con otras coberturas del CLI, tales como la capacidad de uso de las tierras, permitirá, sin duda, avanzar en el conocimiento de las disfunciones entre uso y vocación del suelo, proponiendo, si fuera necesario, una reordenación de la utilización de las tierras afectadas.

La elevada precisión de la cartografía resultante junto al coste sostenido (alrededor de 30 dólares canadienses /km^2) demuestran la eficacia de estas fuentes y métodos en la generación de extensas bases de datos regionales. En su momento se evaluó la posibilidad de extender el método de trabajo al resto de provincias canadienses.

En Escocia (78.783 km^2, cerca del 75% de su territorio está considerado como Áreas Desfavorecidas. Durante las últimas décadas, la disminución de los setos vivos arbóreos que separan parcelas agrícolas, de los brezales de los páramos y el incremento de las repoblaciones de coníferas son los cambios más frecuentes en la ocupación del territorio escocés.

Dada su importancia, el Scottish Natural Heritage (SNH) ha sido comisionado para *cartografiar los cambios de hábitats* ocurridos en dos fases temporales (I entre 1940-70 y II entre 1970-80). Para ello, se ha diseñado un esquema NCMS (National Country side Monitoring Scheme) que contempla 32 clases areales y 5 lineales, estructuradas jerárquicamente en dos niveles.

La metodología considera un muestreo estratificado sobre imágenes georreferenciadas LANDSAT- MSS de cada región escocesa. Éstas son clasificadas mediante una estrategia no supervisada (cluster). La clasificación resultante es remuestreada hasta conseguir nuevos tamaños de celdas agregadas de 25 km^2, empleando criterios modales (Holbrook y Tudor 1993).

Esta cobertura es comparada con la cartografía resultante de la fotointerpretación de tripletas estereoscópicas de escala 1/25.000, restituida a mapas de escala 1/10.000 y rasterizada. Los cambios producidos en las áreas muéstrales son inventariados convenientemente la expansión al conjunto del territorio es calculada mediante estimación, considerando la proporción que ocupa un hábitat determinado en una celdilla de km^2 y el número de celdillas etiquetadas con ese hábitat en el conjunto de la región.

Actualmente, el SNH trabaja en el desarrollo de la II fase para el cual se han sustituido máquinas más convencionales (estereoplotters) por sistemas CADISIG. Este proyecto se engarza metodológicamente con el mapa de ocupación del suelo de Gran Bretaña, coordinado por el ITE (Fuller et al., 1990; Wyatt, 1992).

En la región belga de Valonia (16.845 km^2), el Ministre de la Région Walionne ha acometido la elaboración de la *Carte d'Occupation du Sol,* a escala 1/50.000, en el marco del Plan d'Aménagement du Territoire Walion que pretende definir las grandes líneas maestras de la ordenación del territorio. Para ello, se juzga necesaria la existencia de una cartografía básica de la ocupación actual del suelo.

Las fuentes principales son las imágenes de los satélites LANDSAT-TM y SPOT-HRV, complementadas con fotografías aéreas en infrarrojo color

(1/25.000) y otros datos cartográficos y estadísticos.

Teniendo en cuenta una leyenda inicial de 13 clases, las imágenes han sido tratadas digitalmente y clasificadas mediante una estrategia supervisada. No obstante, antes de la edición definitiva, un proceso interactivo, interpretando visualmente planos catastrales locales y estereogramas, ha permitido a los operadores reclasificar ciertas áreas de difícil asignación digital (bosque mixto, áreas forestales en sombra, áreas militares, áreas industriales abandonadas, etc). Tres clases más han sido añadidas directamente de la explotación de los documentos auxiliares.

La redacción cartográfica final se ha efectuado tras integrar los datos procedentes de diversas fuentes y de corregir geométricamente la clasificación definitiva. Un total de 47 hojas policromas y de un mosaico regional componen la serie cartográfica descrita[8]

En España., las consejerías regionales de ordenación del territorio encargan a sus propias agencias cartográficas o a empresas la edición de mapas temáticos diversos que ayuden a los planificadores en la toma de decisiones.

El Institut Cartográfic de Catalunya dispone de una *serie temática de escala regional 1/250.000.* La cobertura de usos del suelo es una de que han preocupado desde antaño. Diversas aproximaciones se han efectuado desde comienzos de la década de los años ochenta, basándose en datos teledetectados.

En la primera (1984), el *Mapa d'Usos del Sol de Catalunya* (cerca de 32.000 km^2) se realizó a partir del tratamiento informático de imágenes LANDSAT-MSS, diferenciándose 7 clases, con una resolución de 1 km^2.

La segunda aproximación, el *mapa de usos y cubiertas del suelo de Catalunya* (Viñas et al., 1989), fue elaborada mediante tratamiento digital de imágenes multitemporales LANDSAT-TM del año 1987. No obstante, se empleó información exógena procedente de fotointerpretación y de cartografía auxiliar, procedimiento que mejoró la fiabilidad global del mapa. En este documento se distinguieron 20 clases.

Respetando la misma leyenda, se ha desarrollado *la actualización de este mapa* (Joaniquet et al., 1995), empleando datos LANDSAT-TM multiestacionales (primavera y verano de 1992) e información de apoyo (índices de vegetación y datos topoclimátícos). La actualización se ha basado en un análisis de diferencias entre las imágenes de referencia.

Por último, el *mapa CORIME-Land Cover de Catalunya* (Joaniquet et al., 1993) ha sido obtenido mediante la fotointerpretación de ortoimágenes LANDSAT-TM en falso color, siguiendo las directrices del proyecto mencionado. En este mapa, se representan las 44 categorías del nivel III de la taxonomía y se acompañan los datos de los territorios transfronterizos (Francia, Aragón y Comunidad Valenciana), ensamblados de forma armónica (proyecciones, continuidad de recintos y consistencia de los atributos), tal como exigió la comisión internacional creada para estos casos.

En Andalucía (87.268 km^2,), la Agencia de Medio Ambiente ha editado el *Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo* a escala 1/400.000 (Moreira y Fernández-Palacios, 1995). Partiendo de la interpretación de las ortoimágenes LANDSAT-TM en falso color, de escala 1/100.000 del proyecto *CORINE- Land Cover,* se ha efectuado una generalización cartográfica de la información original para adecuar- se a la escala de reconocimiento final.

La leyenda se ajusta a la taxonomía definida por el grupo de expertos del proyecto europeo. Muestra 48 clases estructuradas en 4 grupos temáticos. las clases se corresponden con el nivel jerárquico III (común a todos los países miembros) y algunas clases de nivel subnacional pero de gran trascendencia en la región (cultivos herbáceos de regadío, bajo plástico, frutales, frondosas perennifolias y caducifolias).

El producto final reproduce las manchas temáticas sobre una base planimétrica (límites administrativos municipales) y toponímica de apoyo.

De forma complementaría, la agencia andaluza sigue trabajando en otro proyecto de gran interés ambiental; se trata del *Programa de Control de Cambios en el Territorio de Andalucía a* través de imágenes de satélite. En la actualidad, está disponible una base de datos que contiene las estadísticas de las áreas que se han transformado entre dos fechas de referencia (1976 año medio en el que se construyó el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos en Andalucía y 1987,año de las imágenes LANDSAT-TM *de CORINE).*

Desde hace unos anos, se trabaja en la actualización del *mapa de ocupación del suelo de Andalucía,* a escala 1/100.000. Se parte de un esquema metodológico similar al de *CORINE-Land Cover.* Fotointerpretación de ortoimágenes LANDSAT-TM en falso color (4/5/3=R/G/B) de 1991, producidas por la Agencia de Medio Ambiente, junto al empleo de documentación auxiliar (aerogramas 1/25.000, trabajos de campo y mapa de ocupación del suelo de España de 1987) permiten la producción de las minutas de las 54 hojas de la serie y almacenamiento en el *Sistema de Información Ambiental de Andalucía, SinambA* (Moreira, 1995).

La leyenda ha sufrido una mejora considerable respecto a la taxonomía CORINE con vistas a minimizar el conflicto entre uso y ocupación, ajustarse mejor a la variedad agroforestal mediterránea

[8] Para más información puede contactarse con MINISTERE DE LA PÉGION WALLONE. Direction Générale de l'Amenagement du Territoire el du Logement. Division de l'Amenagement el de I'Urbanisme. Rue des Brigades d'Irlande, 1. 5100 Namur. BÉLGICA

y acomodarse a las posibilidades de la fotointerpretación. Una nueva leyenda de 154 clases, agrupadas en 6 niveles jerárquicos. componen el esquema tenido en cuenta en la explotación de las imágenes de satélite.

La comparación entre el *Mapa de Ocupación del Suelo de Andalucía de 1987* y el nuevo mapa de 1991 permite ampliar la base de datos regional de las transformaciones de usos a un nuevo tramo cuatrienal y abre nuevas posibilidades de generar modelos territoriales dinámicos y sintéticos en el marco del *SinambA*.

En la actualidad, se han ensayado diversos procedimientos para actualizar automáticamente la descrita base de datos cartográficos. Asimismo, se trabaja hoy en la actualización del *mapa de ocupación del suelo de Andalucía,* a escala 1/50.000, con imágenes de 1995.

*En Castilla-León (94.193 km^2 la Junta ha encar*gado a la consultora IBERSAT, S.A. la ejecución del *mapa de uso y ocupación del suelo de Castilla-León,* a escala 1/50.000. Ortoimágenes LANDSAT-TM en falso color (4/5/3=R/G/B) de escala 1/50.000, con el tamaño de pixel remuestreado han sido las fuentes principales de la interpretación junto a otros documentos auxiliares de apoyo (estereogramas, mapas topográficos y temáticos e inventarias).

La explotación de la información se ha basado en un análisis visual de las imágenes, auxiliado por visualizaciones complementarias en pantalla de ordenador (magnificaciones, otras combinaciones de color, índices de vegetación, etc). La leyenda está organizada en torno a 15 clases principales junto a asociaciones de cubiertas y sobrecargas.

En la actualidad, los trabajos de interpretación se encuentran finalizados en la mayor parte de las 214 hojas que conforman esta serie cartográfica. Tan sólo quedan algunos sectores de Salamanca por revisar.

Por último, vamos a mencionar otros trabajos cartográficos que inciden en el nivel regional pero, en este caso, no se trata de regiones político-administrativas. Nos referimos a las cuencas hidrográficas, auténticas regiones naturales que, aún superponiéndose en ocasiones sobre varias regiones políticas, poseen una unidad fisiográfica indiscutible. La mayor parte de los trabajos se justifican por la necesidad de administrar el recurso agua de forma racional en toda la cuenca.

En esta línea, el antiguo IRYDA ha desarrollado, a partir de 1990, diversos estudios en las cuencas de los principales ríos españoles. El objetivo común es planificar el uso agrario del agua a partir de la integración, en un SIG, de los datos relativos a la demanda actual (usos actuales del suelo, tanto los primordiales como los específicos de los terrazgos regados) y a la demanda futura, estimados a partir de estudios agroclimáticos.

En las cuencas hidrográficas del Ebro (85.570 km^2) y del Tajo (81.947 km^2), la teledetección espacial ha sido considerada en una doble vertiente metodológica. En la primera, las imágenes han sido las fuentes principales para *cartografiar los actuales usos del suelo.* Visualmente se han interpretado imágenes LANDSAT-TM en falso color (4/5/3=R/G/B), de escala 1/200.000 para cartografiar los usos primordiales de toda la cuenca a escala 1/400.000, considerando la taxonomía de la FAO (Sánchez y Pérez de los Cobos, 1993).

Posteriormente, un tratamiento digital de imágenes multitemporales LANDSAT-TM ha permitido deta*llar los cultivos dentro de las tierras regadío,* mediante una clasificación supervisada. Los resultados se han cartografiado a escala 1/100.000, estableciendo la demanda actual de agua en base a la superficie de cada cultivo y a las dotaciones de agua necesarias para cada uno de ellos.

La segunda vertiente trata de apoyarse en imágenes SPOT pancromáticas y estereoscópicas, a escala 1/100.000 para determinar, por fotointerpretación, *los sistemas de tierras aptos para el cultivo en regadío.* Estas exploraciones, junto a datos agroclimáticos, permiten estimar las necesidades futuras de agua para el uso agrario en ambas cuencas.

En la cuenca del Duero (98.375 km^2), se ha llevado a cabo un estudio similar (Escudero y Pérez de los Cobos, 1995), guiado por los mismos objetivos que los dos anteriores. Tan sólo, se observan pequeñas diferencias metodológicas (estrategia de clasificación no supervisada mediante el algoritmo Isodata, fechas de las imágenes y trabajos de campo, etc). Sin embargo, las escalas y temas de las series cartográficas resultantes mantienen idénticos criterios.

Nivel sub-regional

Como anticipamos, no es posible relacionar en este artículo las innumerables experiencias cartográficas llevadas a cabo a nivel local, a partir de datos teledetectados. Tan sólo vamos a apuntar alguna experiencia española significativa a nivel provincial.

En las provincias de León (15.468 km^2) y en Palencia (8.029 km^2) se está construyendo sendas *series cartográficas de las principales superficies agroforestales* a escalas 1/50.000 y 1/200.000 (conjuntos provinciales), encargadas por la Junta de Castilla y León (López Soria, 1995). Se desea disponer de una información actualizada, representada cartográfica y estadísticamente a nivel municipal, comarcal y provincial. El método empleado se basa en un análisis visual de las ortoimágenes LANDSAT-TM, asistido por ordenador. Los resultados se integran en un Sistema de Información Geográfica.

Para terminar conviene decir que a escalas más grandes, hasta ahora, es anecdótico el empleo de sensores espaciales en la planificación local. Entre las múltiples causas destacan las limitaciones en

resolución espacial de la mayor parte de los sistemas de observación. Por ello, la mayor parte de agencias locales utilizan ortofotoplanos de escalas grandes (superiores a 1/25.000), formados a partir de mosaicos corregidos de fotografías aéreas de baja altura de vuelo. En España, las series más conocidas son las publicadas por el Institut Cartogràfic de Catalunya (escalas 1/25.000 y 1/5000)[9] Geográfico del Ejército (1/10.000)[10] de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria[11]. Estos documentos son básicos en la planificación ambiental de espacios locales y en la gestión catastral.

Actualmente, la disponibilidad de imágenes capta- das desde sensores de muy alta resolución espacial -menor de 10 m- (cámaras de satélites rusos) y los desarrollos futuros a corto plazo (LISS-P) permitirán, en breve, alcanzar aplicaciones cartográficas y estudios ambientales de escala local con elevada precisión geométrica.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista cartográfico queda demostrada la operatividad de las imágenes espaciales como fuente de múltiples aplicaciones cartográficas, tanto en la construcción y revisión de series básicas como en la ejecución de colecciones temáticas. Las aplicaciones más probadas, en todas las escalas, son la ocupación y usos del suelo y la cartografía de vegetación y/o forestal.

Metodológicamente se evidencia el mantenimiento y/o redescubrimiento de las técnicas de análisis visual de imágenes espaciales en aplicaciones cartográficas de envergadura. Fotointerpretación-restitución, interpretación directa sobre documentos corregidos en soporte de papel o interpretación-delineación empleando instrumentos ópticos o sobre el monitor de un puesto informática son algunas de las variadas combinaciones ensayadas en los proyectos cartográficos descritos. Por otra parte, se perfila el enorme interés del tratamiento digital en otras aplicaciones relacionadas con la vegetación y con el cálculo de parámetros biofísicos relevantes. Asimismo, se impone el empleo de técnicas automáticas en la actualización de series cartográficas, levantadas inicialmente a partir de otros métodos-fuentes más convencionales. A buen seguro, la generalización de su uso repercutirá en una mejora de la productividad de las agencias cartográficas.

La frecuencia de la actualización de cartas topográficas y temáticas se ha incrementado durante los últimos decenios gracias a la repetitividad de las observaciones espaciales.

Por último, la diversidad técnica de plataformas y sensores permite una elevada adaptabilidad de los mismos a las variadas necesidades de los proyectos cartográficos. Plurales campos de visión y resoluciones espaciales se adecúan bien a los esquemas jerárquicos que contemplan graduales niveles, desde los de menor a mayor detalle.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo no hubiera sido posible sin la colaboración de instituciones, profesores y directores técnicos de empresas que han suministrado al autor gran parte de las referencias y detalles que se vierten en el texto. A todos ellos, agradecemos desde estas páginas sus orientaciones.

BIBLIOGRAFIA

AMSBURY, D.L. 1989. United States Manned Observations of Earth before the Space Shuttle. *Geocarto International.* 4(1):7-14.

ANDERSON, J.R., HARDY, E.E., ROACH, J.T. y WITMER, R.E. 1976. A *Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensing Data.* Virginia. USGS. Prof. Paper. 964.

ARBIOL, R., AROZARENA, A. y VILLA, G. 1994. Cartografía digital en áreas sin cobertura de mapas en la cuenca Orinoco en Venezuela, mediante imágenes de satélite, fotos aéreas infrarrojo y GPS. *Revista de Teledetección. 3:58-59.*

AROZARENA, A., CALERO, E., DELGADO, J. y VIVAS, P. 1989. Aplicaciones de las imágenes espaciales a la cartografía de base. *Teledetección y planificación integrada del territorio.* Madrid. MOPU. 215:223.

BAGNARESI, U. y VIANELLO, G. 1995. *Copertura forestale e territorio.* Milán. Franco Angeli. 299p.

DENÉGRE, J. ed. 1988. *Thematic Mapping from, Satellite Imagery.* London. Elsevier-ICA. 214p.

DENÉGRE, J. ed. 1994. *Thematic Mapping from Satellite Imagery: A Guide Book.* Oxford. Elsevier-ICA. 269p.

DI GREGORIO, A. 1991. Land Coyer and Land Use Mapping of all Africa. An FAO proposal. *LC-LU Planning in the Context of Operational Management of Resources and the Transfer of Remote Sensing Technology in Intertropical Africa.* Madrid. EEC-STD3 Programme.

ESCUDERO, R. y PEREZ DE LOS COBOS, P. 1995. Discriminación y cuantificación de usos del suelo y regadíos en la cuenca del Duero por teledetección. *Agricultura y Bosques.* Universidad de Valladolid-AET. en prensa.

[9] La serie de ortofotomapas de Cataluña de escala 1/25.000 está compuesta por 304 hojas en blanco y negro, siguiendo la distribución del Mapa Topográfico Nacional (división de 2 x 2). Contienen abundante información auxiliar. Por otra parte, la colección de ortofotomapas de Cataluña de escala 1/5.000 está compuesta por 6.307 hojas, siguiendo el esquema del Mapa Topográfico Nacional (división de 12 x8). El precio de ambas series es inferior a 1.000 ptas/hoja. Institut Cartogràfic de Catalunya, Balmes, 209-211. 08006-Barcelona.

[10] El SGE publica ortofotomapas de escala 1/10.000 en color natural con la planimetría y altimetría (equidistancia de 10 m) sobreimpresa, además de otra información auxiliar. Su coste está alrededor de 300 ptas/hoja, Servicio Geográfico del Ejército. C/ Darío Gazapo, S. 28024-Madrid.

[11] El CGCCT dispone de ortofotomapas de escala 1/5.000 para la gestión del Catastro Inmobiliario Rústico de España. Cada hoja, anotada con planimetría y altimetría, cubre una superficie aproximada de 750ha, siendo su coste de unas 3.000 Ptas. Para más detalle consultar Más 1993). Centre de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria. Pº Castellana, 272. 28046 Madrid.

FULLER, R.M., JONES., A.R. y GROM, O.B. 1990. *Countryside Survey 1990: Mapping the Land Cover of Great Britain.* Monkswood. BNSC.

GARCÍA COGOLLOR, A., PINTO, G., DALDA, A. y PARRA. R. 1983. Los mapas de Guinea Ecuatorial. Madrid, IGN.

GDTA-CEE. 1982. *Recherche sur la cartographie de I'Occupation des sols par Télédétection.* Paris. IGN. 58P.

HERIC, M. y LUCAS, C. 1989. The Anticipated Role of the Large Format Camera in Future Earth Observation Strategies. *Geocarto International.* 4(4):23-26.

HEYMAN, Y. 1993. *CORINE Land Cover. Guide* technique. Luxembourg. Communautés européennes Commission. 144p.

HOLBROOK, J.A. y TUDOR, G.J. 1993. The Use of Remote Sensing and GIS Methods for Mapping Land Cover Change in Scotland. *EARSEL Advances in Remote Sensing.* (2)3:77-83.

JOANIQUET, M., PINEDA, L., TARDA, A y BAULIES, X. 1993. Mapa CORINE-Land Cover de Catalunya 1/250.000. Metodología y fases derealización.Ordenación *del territorio y medio marino.* Universidad de Las Palmas- AET.

JOANIQUET, M., AUGZ I., BAULIES, X., TARDÁ, A., VIÑA, M. y VIÑAS, O. 1995. Actualización del mapa de los usos del suelo de Catalunya a partir de datos multitemporales TM. *Agricultura y Bos*ques. Universidad de Valladolid-AET.

LOPEZ SORIA,. S. 1995. Cartografía del agro castellano-leonés mediante técnicas de teledetección. Provincias de León y Palencia. *Agricultura y bosques.* Universidad de Valladolid-AET. en prensa.

LOPEZ VIZOSO, J.M. 1989. La observación de la tierra desde el espacio: el mapa de ocupación del suelo de la Comunidad Económica Europea. E*studios Geográficos.* 196:409-434.

LOVELAND, T.R., MERCHANT, J.W., BROWN, J.F., OHLEN, D.O., REED, B.C., OLSON., P. y HUTCWNSON, J. 1995. Seasonal Land Cover Regions of the United States. *Annals of the Association of American Geographers. 85(2):339-* 355.

MÁS, S. 1993. SIGCA y su relación con los Sistemas de Información Geográfica en España y las grandes actuaciones cartográficas. *Catastro. 18:22-* 33.

MOREIRA, J.M., LOBATO, A., DÍAZ, J.M. y OJEDA, J. 1986. La Teledetección como instrumento para el reconocimiento de la ocupación del territorio. Un caso de estudio en el contexto del programa CORINE de la CEE. *I Reunión Científica del GTT.* Barcelona. CSIC-ICC. 90- 112.

MOREIRA, J.M. y FERNÁNDEZ-PALACIOS, A. *1995. Usos y coberturas vegetales del suelo en Andalucía. Seguimiento a través de imágenes de satélite.* Sevilla. Junta de Andalucía. 370p.

NEWTON, L y DERENYI, E. 1986. Control Extension Utilizing Large Format Camera. *American Congress on Surveying and Mapping-ASPRS Annual Convention. 4:456-465.*

NÚÑEZ DE LAS CUEVAS, R. 1984. Aplicaciones de la teledetección a la cartografía. *III Congreso Nacional de Topografía y Cartografía.* Madrid. COIW. vol II. sin pp.

NÚÑEZ DE LAS CUEVAS, R. y LOPEZ VIZOSO, J.M. 1989. El papel de la cartografía temática elaborada a partir de imágenes espaciales en la planificación del territorio. *Teledetección y planificación integrada del territorio.* Madrid. MOPU. 227:250.

PALKO, S. 1990. NOAA Satellite Imagery and the National Atlas GIS. *Proc. 2th National GIS Conference.* 79-83. Ottawa. Canadian Institute of Surveying and Mapping.

PILON, P.O. y WIAPT, R.J. 1990. Operational Forest Inventory Applications Using Landsat TM Data: The British Columbia Experience. *Geocarto International.* 5(1):25-30.

RIVARD, L., TURNER, A.M., RYERSON, R.A. y VINCENT, P. 1990. Land Use Mapping with Thematic Mapper Imagery. A Canadian Pers*pective. Geocarto International.* 5(1):33-50.

SÁNCHEZ, J.I. y PÉREZ DE LOS COBOS, P. 1993. Aplicaciones de la teledetección espacial a la planificación del uso agrario del agua. Métodos de trabajo. *Teledetección y Medio Ambiente,* Sevilla. Junta de Andalucía-AET. 311-315.

SANCHO, J. 1988-1989. El proyecto CORINE Land Cover. *Bol. Real Sociedad Geográfica. 124-*125:261-267.

STONE, T.A., SCHLESINGER, P.,HOUGHTON, R.A. y WOODWELL, G.M. 1994. A Map of Vegetation of South America Based on Satellite Imagery. *PERS.* 60:541-552.

TOGLIATM, G. y MORIONDO, A. 1984. Analysis of metric camera B&W images over Italy. *IGARSS 84.* ESA. SP-215.

TUCKER, C.J., TOWNSHEND, J.R.O. y GOFF, T.E. 1985. African Land-Coyer Classification using Satellite Data. *Science.* 227:369-375.

VILLAESCUSA, R., BAIGUET, R. y DE LA CITA, F.J. 1995. Banco de datos de la naturaleza: el. mapa forestal de España *1:50.000. Mapping.* 23:22-27.

VIÑAS, O., BAULIES, X., ROMEU, J. y VIÑA, M. 1989. Mapa 1:250.000 de usos y cubiertas del suelo de Catalunya a partir de datos TM. *III Reunión Científica del GTT.* Madrid. ITGE- AET. 43-50.

WYATT, B.K. 1992. Remote Sensing and GIS for the Detection and Prediction of Changes in the Rural Environment. *Remote Sensing and GIS Integrated for the Management of Less Favoured Areas.* Louvain-la-Neuve. EARSeL.