

ACTIVIDADES EN TELEDETECCIÓN Y SIG EN EL CREAM-UAB

XAVIER PONS*

Xavier.Pons@uab.es

* *Departament de Geografia y
Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, CREAM
Edifici C. Universitat Autònoma de Barcelona.
08193 Bellaterra*

RESUMEN: Esta sesión técnica presenta las principales líneas de trabajo del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) y la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) en los campos de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica. Dichas líneas se han desarrollado, en ambos campos, sobre aspectos metodológicos y sobre aplicaciones. Al mismo tiempo, se comentan las aportaciones en desarrollo de *software* y en nuevos formatos de difusión de cartografía y otros datos en CD-ROM e Internet.

Palabras clave: Teledetección, SIG, CREAM, UAB, Cataluña, España.

ABSTRACT: This technical session presents the main works of the Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) and the Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) in the fields of Remote Sensing and Geographical Information Systems. The work has been developed, in both fields, upon methodological aspects and upon applications. Contributions to software development and to new formats for cartography and data dissemination on CD-ROM or Internet are also outlined.

Key words: Remote Sensing, GIS, CREAM, UAB, Catalonia, Spain.

INTRODUCCIÓN

El campus de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), creado hace algo más de 25 años, se ha ido constituyendo en uno de los puntos de activo trabajo en Teledetección y en Sistemas de Información Geográfica de nuestro país. En efecto, bien sea desde departamentos como Geografía, Botánica o Geología, como, muy especialmente en los últimos 10 años, desde el Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), el campus de Bellaterra ha llevado adelante gran variedad de proyectos en esas disciplinas, tanto de investigación como aplicados. Dichos proyectos se han realizado por encargo de administraciones públicas (Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña, Diputación de Barcelona, Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Generalitat, Ayuntamiento de Barcelona, Agencia Catalana del Agua, etc.), organismos nacionales de investigación (Comisión Interdepartamental de Ciencia y Tecnología (CIRIT), Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), etc.),

organismos internacionales (Comisión Europea, Agencia Europea del Espacio (ESA), etc.), empresas, etc.

No es posible hacer aquí un repaso de todos los proyectos realizados, por lo que hemos seleccionado los que nos han parecido que podían ser de mayor interés para los asistentes al IX Congreso Nacional de Teledetección (Lleida, septiembre 2001). De éstos hacemos un breve apunte y remitimos a la bibliografía que creemos que mejor recoge la aportación para quien desee profundizar en ellos. Esperamos con ello dar una idea más de conjunto de las actividades UAB-CREAM que la que habitualmente tenemos tiempo en las breves y específicas presentaciones de los congresos. Las personas interesadas en conocer otros proyectos o en ampliar la lista de referencias bibliográficas pueden consultar el buscador de las publicaciones del CREAM: <http://www.cream.uab.es/cream/actipub/publi>, donde encontrarán más de 180 publicaciones en el campo de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica.

ASPECTOS METODOLÓGICOS EN TELEDETECCIÓN

Correcciones Geométricas

La correcta adaptación de las imágenes a la métrica de las proyecciones cartográficas habituales ha sido una de nuestras preocupaciones, tanto por el simple prurito científico, como por nuestro convencimiento que es a través de la integración con los SIG que la Teledetección adquiere su máximo valor, y que dicha integración debe hacerse en las mejores condiciones para beneficio mutuo de ambos mundos. Por otra parte, es bien sabido que la deformación que un cierto relieve induce en una imagen depende de factores como la altura de la plataforma o la distancia al nadir. Al ser el primero de estos factores normalmente muy elevado en relación con el relieve terrestre, a menudo se ha argumentado que la consideración de ese relieve en la métrica de las imágenes de satélite era innecesario. Sin embargo, se olvida que lo que es cierto para los grandes píxeles de los primeros sensores, deja de serlo al aparecer sensores de 30 m de resolución espacial, y se va acentuando con los cada vez más detallados captadores de imágenes actuales. Fruto de las investigaciones en esta línea fue la propuesta de algunos modelos polinómicos de corrección geométrica que incorporan el relieve, ofreciendo resultados claramente mejores tanto desde el punto de vista teórico como práctico (Palà y Pons, 1995), así como los actuales desarrollos de modelos orbitales para imágenes como las de los satélites NOAA en que la curvatura terrestre impide una integración polinómica satisfactoria.

Correcciones Radiométricas

Del mismo modo que el relieve terrestre influye en la geometría de las imágenes, también afecta la respuesta radiométrica que se obtiene según el ángulo de incidencia y el ángulo de visión. Ya en nuestros primeros trabajos de clasificación nos dimos cuenta que la no consideración de los diversos factores relacionados con el relieve y la posición solar (los citados ángulos, el ocultamiento topográfico, etc.) y con la atmósfera en cada imagen producían artefactos indeseables en las clasificaciones de las imágenes. No satisfechos con las alternativas clásicas (ignorar el problema o bien utilizar métodos inaplicables en la mayoría de imágenes por falta de datos), desarrollamos un método simplificado que se ha mostrado muy útil en todos nuestros trabajos posteriores y del que pueden encontrarse detalles en Pons y Solé-Sugrañes (1994) o en Salvador *et al.* (1996). El método ha sido también utilizado por colegas de otros países tanto en imágenes aéreas como aeroportadas, si bien en estas últimas es necesario aplicar refinamientos debido al habitual amplio FOV que provoca mayor dispersión atmosférica en los bordes de las imágenes, es-

pecialmente en las bandas de longitudes de onda más corta.

Otros trabajos en relación con esta temática son los efectuados en radiometría fina (Peñuelas *et alii*, 1994; Filella y Peñuelas, 1994; Peñuelas *et alii*, 1997), en firmas espectrales de vegetación Mediterránea (Pons y Roure, 1993) o en optimización de coeficientes de paso de radiancias a DN para aprovechar mejor el rango de respuesta espectral de cada cubierta del suelo.

Clasificación

En este ámbito se han desarrollado métodos mixtos que combinan clasificadores no supervisados y supervisados y permiten mejores resultados en la inmensa mayoría de los casos (Salvador *et al.*, 1996; Serra *et al.*, 2000).

Cartografía semiautomática de incendios forestales

A pesar que en muchos casos el efecto de un incendio forestal en una imagen puede ser claramente visible, la detección y delineación automática en largas series temporales de imágenes no resulta habitualmente simple debido a las diferentes severidades del fuego, estado fenológico de la vegetación anterior al incendio, etc. En esta línea se han desarrollado un par de métodos (Salvador *et alii*, 2000; Salvador en prensa) para cartografía de incendios forestales. El primero de ellos se basa en un modelo que tiene en cuenta la caída que se produce en el NDVI tras el incendio, pero relacionándola con otros factores del entorno y la experiencia extraída de incendios patrón; el segundo permite, a través de explorar contigüidades texturales de las imágenes, apuntar interactivamente a un incendio y obtener su delineación.

Diseño de sensores

En 1996 se colaboró con INSA e INTA en un proyecto de la ESA para el diseño de un Sistema de Observación Forestal (FOS) (Pons *et al.*, 1996).

APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN

Cartografía de la vegetación y de la dinámica de los usos del suelo

Se ha trabajado en la cartografía de diferentes parques naturales (Collserola, etc.) desde el punto de vista de las cubiertas y usos del suelo. En particular resulta interesante la aplicación al estudio de los cambios en agricultura que se ha llevado a cabo en la comarca catalana del «Alt Empordà» (Serra *et alii*, 2000).

Inventariado forestal mediante imágenes de sensores aeroportados y de satélite

Éste ha sido uno de los campos en que se ha llevado a cabo una labor más activa. En efecto, se han realizado

diversos estudios para intentar obtener variables forestales de tipo continuo (biomasa, recubrimiento, etc.) a partir de datos del sensor aeroportado CASI (ICC) y de los sensores TM y MSS de los satélites Landsat. Los principales resultados de estas investigaciones se pueden consultar en Baulies y Pons (1995), Salvador *et al.* (1997) o Salvador y Pons (1998a y 1998b). Las conclusiones de nuestros trabajos apuntan a que los datos Landsat no parecen proporcionar valores con suficiente poder predictivo para los bosques mediterráneos, altamente diversos espacialmente (Salvador, 1999), mientras que la utilización del CASI podría llegar a ser operativa con un tratamiento geométrico y radiométrico mejorado. Debemos decir, sin embargo, que en algunas experiencias con CASI los ajustes no fueron aceptables.

Recuperación de la cubierta vegetal tras incendios

Nuestro grupo adquirió una larga serie de imágenes de satélite (unas 100 escenas) desde 1975 hasta 1993 con el objetivo de reconstruir la cartografía histórica de los incendios forestales en Cataluña, zona especialmente afectada por este fenómeno. La disponibilidad de una larga serie de imágenes permitía asimismo analizar la recuperación de la cubierta vegetal tras cada incendio y poder establecer ratios de recuperación en función de la precipitación previa, la recurrencia de fuegos en la zona (hasta 5 en la misma zona durante dicho período temporal), etc. (Díaz-Delgado *et al.*, 1998; Díaz-Delgado y Pons, 2001).

Cartografía de severidad de quema

La cartografía de la severidad de quema a través de imágenes de teledetección está siendo evaluada gracias a la disponibilidad de mapas de verdad terreno en un gran incendio patrón.

Fotointerpretación multispectral

El CREAM lleva a cabo el Mapa de cubiertas del suelo de Cataluña (MCSC), que cubre los 32000 km² del territorio a partir de ortofotos color de resolución 2 m y con una superficie mínima de fotointerpretación de 500 m². La larga experiencia en la formación de esta cartografía está siendo aprovechada actualmente para el enriquecimiento de la leyenda a partir de datos multispectrales o para estudios de cambios en los usos del suelo (Burriel *et al.*, 2000).

ASPECTOS METODOLÓGICOS EN SIG

Por lo que respecta a aspectos metodológicos de los Sistemas de Información, se han llevado a cabo varios desarrollos distintos que van desde la programación de herramientas de análisis combinado ráster/vector

(Pesquer *et al.*, 2000) o el desarrollo de un método heurístico para generación de modelos digitales del terreno (MDT) a partir de isolíneas, hasta el análisis de sensibilidad de modelos de propagación de fuegos (Salvador *et alii*, 2001).

Asimismo también se ha trabajado en la generación de mapas de modelos de combustible y de inflamabilidad para toda Cataluña a escala 1:100 000 a partir de modelos combinados de interpolación de variables cuantitativas y cualitativas y diversas técnicas de SIG.

Finalmente, la más reciente aportación es un método de comparación de capas para detección certera de los cambios en los usos del suelo, del cuál aparece un avance en las actas de este mismo IX Congreso Nacional de Teledetección y que, en forma más extensa, esperamos que aparecerá el año próximo en una revista internacional.

APLICACIONES DE LOS SIG

Información territorial

El CREAM coordina y ha sido el principal motor del Sistema de Información de los Bosques de Cataluña, una gran base de datos relacional (30000 puntos en el campo) acompañada de abundante cartografía (varios Gbyte de información y datos). Véase Gracia *et alii* (1998) para detalles.

Gestión y planificación territorial

Éste es un campo en el que se dispone de una importante experiencia. Por un lado se ha trabajado en varios parques naturales, en los cuales se ha intentado integrar el SIG como una pieza central de la gestión. La idea es alejarse tanto del SIG del especialista (porque impide a la mayor parte del personal el acceso a la información y potencialidades del SIG), como del SIG excesivamente facilitado y cerrado (porque pronto resultará insuficiente y obsoleto tecnológicamente); en su lugar se plantea un SIG realmente integrado de forma que desde los informes de los guardas hasta el planeamiento se realicen desde una misma base de datos que contenga la cartografía, los datos alfanuméricos convencionales, los documentos e informes generados, los accesos necesarios a la red externa e interna, etc. Para esta finalidad se usan y explotan intensamente los recursos que brindan las tecnologías nacidas de Internet (páginas web internas y externas, CGIs, *applets*, etc). Uno de estos parques mereció un reconocimiento ISO-9002 a la calidad. Véase Marcer y Pons (1998) y Marcer *et al.* (2000).

Por otra parte, actualmente se está trabajando en el SIG de la Dirección General del Medio Natural de la Generalitat, que integra una gran base de biodiversidad, con cientos de miles de citas florísticas y faunísticas,

cartografía, bibliografía (incluyendo literatura gris, para la cual se ha diseñado una base de datos especial).

En tercer lugar, en los últimos 2 años se ha ido desarrollando un SIG para la Dirección General de Pesca y Asuntos Marítimos de la Generalitat. Este sistema ha obligado a resolver diversas particularidades como el correcto tratamiento por lo que respecta a la proyección cartográfica Mercator, la habitual en navegación marítima, en el si del SIG (Masó *et al.*, 2001). También ha habido que resolver la práctica inexistencia de cartografía digital en ese sector del territorio, aprovechando al máximo las cartas náuticas del IHM, sondeos de batimetrías y otras muchas informaciones dispersas existentes.

El último bloque de estudios en esta línea se desarrolla alrededor de la biodiversidad y el paisaje. En efecto, el mantenimiento de la biodiversidad y del funcionamiento ecológico de los espacios naturales a menudo pasa por potenciar su interconexión. El diseño de estas conexiones es abordable desde el estudio de la estructura y el funcionalismo del paisaje y mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica que permiten la superposición de información coincidente en el espacio y relativa tanto al conocimiento como a la planificación del territorio. Además de estos estudios también se han buscado relaciones entre la estructura del paisaje y la riqueza de especies de aves (Pino *et alii*, 2000) y se está analizado la influencia mutua incendios-paisaje.

Modelos climáticos

Los SIG permiten abordar modelizaciones años atrás simplemente sugeridas, e incluso sofisticarlas para intentar comprender y conocer mejor nuestro entorno. Un ámbito en el que hemos trabajado intensamente es el de los modelos climáticos. De un lado se han abordado modelos de corte físico para parámetros como la radiación solar (Pons, 1996) mientras que se han realizado aproximaciones empírico-estadísticas para parámetros como temperaturas medias, máximas y mínimas o pluviometría (Ninyerola *et al.*, 2000).

En el primer caso se ha trabajado con parámetros astronómicos y modelos digitales de elevaciones del terreno, teniendo en cuenta la trayectoria solar, ángulos de incidencia, ocultamientos, radiación difusa, etc. El contraste con los datos reales de las estaciones meteorológicas que proporcionan radiación ha permitido demostrar el excelente comportamiento del modelo así como realizar también cartografía de la nubosidad.

En el segundo caso se ha trabajado con parámetros como distancia al mar, continentalidad, altitud, etc y se ha combinado con la información de aproximadamente 7500 estaciones de datos pluviométricos y 3500 estaciones de datos termométricos. La metodología ha com-

binado diferentes técnicas de interpolación (inverso ponderado de distancias, *kriging*, *splines*) con regresión múltiple y un método de tratamiento de anomalías.

DESARROLLO DE SOFTWARE

MiraMon

Tanto para el ámbito de la Teledetección como para el ámbito SIG ha sido necesario en muchos casos desarrollar programas informáticos adecuados. En unos casos el motivo fue la no disponibilidad de *software* adecuado unido a la imposibilidad de adquirirlo por los prohibitivos precios. En otros casos fue simplemente que ningún *software* existente presentaba las características requeridas justamente porque se trataba de nuevos algoritmos o metodologías.

Si bien en un principio nuestros desarrollos se plantearon como simples complementos al *software* de que disponíamos, en el año 1994 todavía echábamos en falta un *software* capaz de aprovechar las características de los ordenadores compatibles (PC) del momento, especialmente en lo que respectaba a la capacidad de proceso en 32 bits, el uso de la memoria RAM disponible (normalmente varios Megabytes) y las tarjetas gráficas de más de 16 colores (256, miles o millones de colores). Insatisfechos con los productos de bajo coste disponibles, decidimos programar una aplicación que presentara las siguientes características: poder trabajar con grandes ficheros, digitalización en pantalla, vectores con estructura topológica, 16 millones de colores sin tener que crear imágenes compuestas ni reducidas. El programa fue bautizado con el nombre de MiraMon (por «Mira» y «Mundo»).

MiraMon, inicialmente pensado para nuestro uso interno, fue creciendo en prestaciones y empezó a tener aceptación entre nuestros colegas más próximos, que nos animaron a documentarlo, traducirlo a otras lenguas y ofrecerlo, a principios de 1995, a la comunidad de usuarios de Teledetección, SIG y cartografía sobre PC (para detalles véase <http://www.creaf.uab.es/mirammon>). En mayo de 2001 cuenta con unos 1800 usuarios en 24 países del mundo y ofrece un amplio abanico de funcionalidades avanzadas en Teledetección y SIG, siendo además el programa padre del Lector gratuito de Mapas para Internet que describimos en la siguiente sección.

El formato MMZ y el Lector de Mapas de MiraMon

Dado el creciente uso de MiraMon, y animados por administraciones que deseaban publicar cartografía en Internet, desarrollamos un formato de mapa de MiraMon comprimido (MMZ) que resulta idóneo para distribuir información tanto cartográfica como alfanumérica, ráster

o vectorial, con topología o sin ella, en Internet e intranets corporativas. Entre otras ventajas citaremos las siguientes: 1/ El formato envía los datos en sí, no simples volcados de pantalla, lo que lo hace ideal para distribuir información, recuperar interacciones con los usuarios, etc. 2/ El formato permite despreocuparse de todos los metadatos e información relacionada (documentos de texto, fotos, hojas de cálculo, etc) ya que se ocupa automáticamente de enviar al usuario final todo lo necesario de forma convenientemente enlazada. 3/ Es un formato que utiliza las más altas técnicas no degradativas de compresión, admitiendo también compresión degradativa de imágenes en su interior. 3/ Los ficheros a distribuir están certificados, lo que significa que el usuario final sabe quién le proporciona los datos y, además, si alguien no autorizado modifica cualquier dato cartográfico o alfanumérico, la información se invalida automáticamente. 4/ Se puede combinar sinérgicamente información de diferentes sitios webs, sin tener que hacer nada especial para ello más que el correspondiente "clic" en cada página implicada.

La implementación de esta tecnología en la página web del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña mereció la Mención Especial del jurado internacional del premio Möbius a la mejor aplicación en ciencia y tecnología en Internet 2000. No deja de ser para nosotros un motivo de satisfacción este premio, y por dos razones: la primera que no siempre la capacidad de innovar está lejos de nuestras fronteras, y la segunda que no deja de ser singular que con la fama de difíciles que han tenido tradicionalmente los programas SIG, un *software* como MiraMon reciba precisamente un premio en un certamen multimedia. Más detalles pueden encontrarse en Pons y Masó (2000).

CARTOGRAFÍA CONVENCIONAL Y DE IMÁGENES EN CD-ROM Y EN INTERNET

La compilación de bases de datos de cualquier ámbito, local, regional, continental o global, es uno de los retos de los actuales sistemas de información geográfica, teniendo en cuenta las capacidades de almacenamiento y proceso de los actuales ordenadores y la obvia necesidad de poner la información en redes de conocimiento comunes a investigadores de diferentes países. En esta línea hemos trabajado a diferentes niveles, bien sea haciendo grandes compilaciones para distribución de imágenes de satélite, cartografía y bases de datos en CD-ROM o Internet (LUCC 1998), distribuyendo muestras importantes de SIGs implementados (Marcer *et al.*, 2000) o simplemente sirviendo de soporte técnico puntual (Cerkas-CAiATB-UPC 2000). En Internet existen importantes servidores de cartografía en qué se ha tenido una colaboración importante, como el del Departamen-

to de Medio Ambiente de la Generalitat (<http://www.gencat.es/mediamb/sig/sig.htm>), el de la Dirección General de Pesca (<http://www.gencat.es/darp/sigpesca.htm>), el mapa de usos del suelo 1:5000 completo de Andorra y el topográfico 1:5000 de Andorra (74 hojas cada uno, Semene *et alii* 2001) o los mapas diarios de avisos meteorológicos sobre situaciones meteorológicas de riesgo, que se generan automáticamente desde MiraMon <http://www.gencat.es/servmet/smr/index.htm>.

A MODO DE CONCLUSIÓN

La intensa activada realizada en el ámbito de la Teledetección y los SIG en CREAM y la UAB, de la cuál hemos dado unas muestras en este artículo, no hubiera podido llevarse a cabo sin la sinergia creada con otros centros del país, en particular el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) y el Instituto de Investigaciones Geológicas "Jaume Almera" del CSIC, o si administraciones como el Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña no hubiesen apostado por el capital humano con el que este autor tiene el privilegio de compartir no sólo el lugar de trabajo sino también el trabajo en sí.

BIBLIOGRAFÍA

- BAULIES X., PONS, X. (1995) Approach to forestry inventory and mapping by means of multi-spectral airborne data. *International Journal of Remote Sensing* 16:61-80.
- BURRIEL, J. Á., PONS, X. y TERRADAS J. (2000) «El mapa ecològic de Barcelona» Ajuntament de Barcelona. Barcelona.(11 p. + 1 mapa) (ISBN: 84-931332-1-3)
- Cerkas-CAiATB-UPC (2000) «Vallé du Todgha (Maroc). Habitat, patrimoine architectural développement urbain» CD-ROM. Royaume du Maroc, Ministère des Affaires Culturelles.
- DÍAZ-DELGADO, R., SALVADOR, R., PONS, X. (1998) Monitoring of plant communities regeneration after fire by remote sensing. In Trabaud L (ed) *Fire management and landscape ecology*. International Association of Wildland Fire, pp. 315-327.
- DÍAZ-DELGADO, R., PONS, X. (2001) Spatial patterns of forest fires in Catalonia (NE of Spain) along the period 1975-1995. Analysis of vegetation recovery after fire. *Forest Ecology and Management* 147(1):67-74.
- FILELLA, I., PEÑUELAS, J. (1994) The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content and biomass. *International Journal of Remote Sensing* 15:1459-1470.

- GRACIA, C., IBÁÑEZ, J. J., VAYREDA, J., PONS, X., BURRIEL, J. A., MATA, T. (1998) The Information System of Catalan Forests: SIBosC. In *Proceedings of the International Conference and Exhibition on Geographical Information, GisPlaNet'98*. Lisboa, edición en CD-ROM, paper 050.
- LUCC CD-ROM Series. Nr. 1: Miombo (1998) Land Use and Cover Change International Office. Barcelona. 1 CD-ROM. (DL:B-3674-98)
- MARCEC, A., PONS, X. (1998) Park GIS implementation. In *Proceedings of the International Conference and Exhibition on Geographical Information, GisPlaNet'98*. Lisboa, CD-ROM, paper 068.
- MARCEC, A., PONS, X. y VICENS, J. (2000) «Vulcano. Sistema de Información Geográfica aplicado a la Gestión del Parque Natural de la Zona Volcánica de la Garrotxa» Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Barcelona. 1 CD-ROM. (ISBN:84-931323-2-2)
- MASÓ, J., PONS, X. y PESQUER, L. (2001) Criterios Geodésicos en los cambios de sistema de referencia de un entorno SIG. *Actas de la 4ª Setmana Geomàtica*, (en prensa)
- NINYEROLA, M., PONS, X., ROURE, J. M. (2000) A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology* 20:1823-1841.
- PALÀ, V., PONS, X. (1995) Incorporation of relief in polynomial based geometric corrections. *Photogrametrics Engineering & Remote Sensing* 61:935-944.
- PEÑUELAS, J., GAMON, J., FREEDEN, A., MERINO, J., FIELD, C. (1994) Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. *Remote Sensing of Environment* 48:135-146.
- PEÑUELAS, J., PIÑOL, J., OGAYA, R., FILELLA, I. (1997) Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing* 18:2869-2875.
- PESQUER, L., J. MASÓ y PONS, X. (2000) «Herramientas de análisis combinado ráster/vector en un entorno SIG» In Aguado, I. y M. Gómez (eds.) CD-ROM «Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, 2000: 53-73.
- PINO, J., RODÀ, F., RIBAS, J., PONS, X. (2000) Landscape structure and bird species richness: implications for conservation in rural areas between natural parks. *Landscape and Urban Planning* 49:35-48.
- PONS, X., ROURE, J. (1993) Caracterización espectral de siete formaciones vegetales mediterráneas a lo largo del año. *Actas de la IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*, pp. 60-69.
- PONS, X., SOLÉ-SUGRAÑES, L. (1994) A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data. *Remote Sensing of Environment* 48:191-204.
- PONS, X. (1996) Estimación de la radiación solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica. In Juaristi J, Moro I (eds) *Modelos y sistemas de información geográfica*. Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco, y Grupo de Métodos Cuantitativos de la Asociación de Geógrafos Españoles, Vitoria-Gasteiz, pp. 87-97.
- PONS, X., J. VALERIANO, R. SALVADOR (1996) Potential users and utilization of a forestry observing system. European Space Agency, ESA-ESTEC, Noordwijk.
- PONS, X. y MASÓ, J. (2000) The MiraMon Map Reader, a new tool for de distribution and exploration Geographical Information through Internet or on CD. XIX Congress of the Internations Association for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS). CD-ROM Technical Comunicacions VI-02-05; Internet Activities
- SALVADOR, R., PONS, X., DIEGO, F. (1996) Validación de un método de corrección radiométrica sobre diferentes áreas montañosas. *Revista de Teledetección* 7:21-25.
- SALVADOR, R., PONS, X., BAULIES, X. (1997) Análisis de imágenes multiespectrales aerotransportadas para estimar variables estructurales de bosques mediterráneos de *Quercus ilex* L. *Orsis* 12:127-139.
- SALVADOR, R., PONS, X. (1998a) On the reliability of Landsat TM for estimating forest variables by regression techniques: a methodological analysis. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 36:1888-1897.
- SALVADOR, R., PONS, X. (1998b) On the applicability of Landsat TM images to Mediterranean forest inventories. *Forest Ecology and Management* 104:193-208.
- SALVADOR, R. (1999) A parametric model for estimating relations between unprecisely located field measurements and remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 67:99-107.
- SALVADOR, R., VALERIANO, J., PONS, X., DÍAZ-DELGADO, R. (2000) A semi-automatic methodology to detect fire scars in shrubs and evergreen forests with Landsat MSS time series. *International Journal of Remote Sensing* 21:655-671.

SALVADOR, S., PIÑOL, J., TARANTOLA, S., PLA, E. (2001)
Global sensitivity analysis and scale effects of a fire
propagation model used over Mediterranean
shrublands. *Ecological Modelling* 136:175-189.

SEMENE, S., SOLÉ, H., DALMASES, C. y PONS, X. (2001)
Centre de Biodiversitat Mapa de Cobertes del Sòl
d'Andorra - esc. 1/5000. [1 CD-ROM]. Institut
d'Estudis Andorrans. ISBN 99920-2-016-4