

Perspectivas de la teledetección en investigaciones ecológicas

J.M. Rey Benayas

Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, c/ Serrano, 115 dpdo. - 28006 Madrid

RESUMEN

Las aplicaciones más prometedoras de la teledetección en ecología se refieren a los campos del cambio climático, biodiversidad y ecosistemas sostenibles. En este trabajo se resumen las posibilidades presentes y futuras (misiones y sensores) de la teledetección para su aplicación en estudios ecológicos. Se explican con mayor detalle dos estudios relacionados con cuestiones ecológicas específicas, biodiversidad e inundación de los humedales en los trópicos, realizados con el Landsat Thematic Mapper y un sensor AIRSAR. Se discuten las razones por las cuales los ecólogos han utilizado poco las técnicas de teledetección y las nuevas perspectivas.

PALABRAS CLAVE: Posibilidades presentes y futuras, biodiversidad, humedales, Thematic Mapper, AIRSAR.

ABSTRACT

The most promising new applications of remote sensing in ecology lie in the areas of global change, ecological diversity, and sustainable ecosystems. The present and future possibilities (systems, satellites, missions, and sensors) of remote sensing for its application in ecological studies are summarized. Two case-studies of specific ecological questions, biodiversity and wetland flooding in the tropics, by means of Landsat Thematic Mapper and AIRSAR are explained in more detail. The reasons why remote sensing techniques have been little used by ecologists and the new perspectives are discussed.

KEY WORDS: Present and future possibilities, biodiversity, wetlands, Thematic Mapper, AIRSAR.

INTRODUCCION

La acelerada degradación de los recursos naturales y la creciente preocupación social y política por los temas medioambientales demanda de las investigaciones ecológicas respuestas concretas, rápidas y eficaces. La naturaleza ya no se percibe como una fuente inagotable de recursos y la actividad humana ha impactado en todas las escalas a su alcance (global, regional y local). Publicaciones recientes (NRC 1986, IGBP 1988, CEES 1991, Lubchenco et al, 1991) coinciden, en términos generales, en cuáles son los grandes retos de los ecólogos del siglo XXI. Por ejemplo, la Ecological Society of America propuso en la primavera de 1991 la «Iniciativa para una Biosfera Sostenible». Se trata de una agenda de investigación que pretende concentrar la atención de la ciencia ecológica sobre la necesidad prioritaria de atender a la gestión y conservación de los recursos de la Tierra (Lubchenco et al, 1991). Estos autores resaltaron tres temas: cambios globales, biodiversidad y mantenimiento o desarrollo de sistemas sostenibles. El progreso en estas áreas requiere esfuerzos integrados de todas las subdisciplinas de la ecología. Con el problema del cambio global, la ecología se hace aún más pluridisciplinar al hacer participar más activamente a especialistas de muy diversos campos, en especial los que estudian las estructuras abióticas del paisaje. Todo ello se traduce en la aplicación de diferentes herramientas y enfoques

metodológicos (Matson and Ustin, 1991). La teledetección es sin lugar a dudas una herramienta que, como iremos viendo, tiene mucho que ofrecer a los ecólogos y que, en opinión de este autor, está infrutilizada.

En este artículo repasaremos brevemente las aplicaciones de los sensores remotos en ecología, así como las posibilidades de instrumentos y misiones futuros. El número de sensores y plataformas operativos y programados ha crecido exponencialmente durante los últimos años, por lo que sólo se mencionarán los más relevantes. Explicaremos dos ejemplos relacionados con los temas señalados anteriormente. Estos se refieren a la cartografía mediante Thematic Mapper de la biodiversidad en los trópicos y a la detección de inundación de humedales mediante un sensor radar de apertura sintética. Finalmente, discutiremos las ventajas e inconvenientes de la teledetección respecto a otras técnicas, su asequibilidad y la necesidad de formar especialistas capaces de conjugar ecología y teledetección. Nuestro objetivo es llamar la atención sobre las enormes posibilidades que ofrecen los datos de teledetección a los ecólogos.

Definimos «teledetección» como la medida de la radiación electromagnética reflejada, emitida o rebotada «backscattering» de la superficie de la Tierra, mediante instrumentos situados lejos del sitio de interés, generalmente a bordo de aviones o en plataformas espaciales (Sabins, 1986).

SENSORES REMOTOS Y ECOLOGIA

Posibilidad de presentes y futuros (Mission to Plant Earth)

La Misión al Planeta Tierra «Mission to Planet Earth» es el nombre de un plan internacional coordinado que pretende proporcionar los satélites, instrumentos, datos y sistemas de información necesarios para la investigación propuesta por el IGBP (International Geosphere and Biosphere Programme) (NRC, 1988). Los objetivos del IGBP son fundamentalmente de índole ecológico. Este plan incorpora tanto instrumentos ya operativos como otros nuevos. La Tabla 1 lista brevemente los sistemas, satélites y misiones que llevan a bordo sensores aplicables en ecología

Posibilidades presentes	Posibilidades futuras
Polar Orbiters (NOAA)	SEASTAR
GOES	SHUTTLE MISSIONS
LANDSAT	RADARSAT
SPOT	ADEOS
INSAT	EOS-A
METEOSAT	EOS-B
DMSP	EPOP
MOS-1	JEOS
ALMAZ	GEOS
ERS-1	
JERS-1	

Tabla 1. Breve resumen de sistemas, satélites y misiones operativos o próximamente operativos con aplicación en estudios ecológicos

Satélites e instrumentos operativos

Los satélites operativos con instrumentos aplicables en ecología son: «Polar Orbiters» de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, americanos), que llevan a bordo los AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer); GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), también de la NOAA; los Landsat (americanos), que transportan el Thematic Mapper (TM), el Multispectral Scanner (MSS) y el Return-Beam Vidicon (RBV); SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre, francés); INSAT (Indian Remote Sensing Satellite); METEOSAT (Meteorology Satellite, europeo); DMSP (Defense Meteorological Satellite Program, americano) y MOS1 (Marine Observation Satellite, japonés).

El Thematic Mapper es, en concreto, el instrumento más utilizado por los ecólogos.

Otros satélites recientemente lanzados son el Almaz (1991, ruso), ERS-1 (1991, European Remote Sensing) y JERS-1 (1992, Japanese Earth Resources satellite). Estos tres satélites proporcionan imágenes radar de una única frecuencia. El JERS-1 también puede medir en la región del visible e infrarrojo cercano, y permite fotos en pares estereoscópicos.

Nuevas misiones

Los nuevos instrumentos abarcan (Wickland, 1991): a) una serie de satélites para el estudio de cuestiones específicas que serán operativos a corto plazo (presente-1997), denominados «Earth Probes» en Estados Unidos; b) los EOS (Earth Observing System), operativos a partir de 1997 y destinados a proporcionar un inmenso caudal de datos multiespecíficos durante 15 años ininterrumpidamente; c) el GEOS (Geostationary Earth Observing System), que será operativo en el siglo venidero.

Del grupo de instrumentos específicos y operativos a corto plazo con interés de ecología debemos destacar el sensor SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor, americano), a bordo del satélite SeaStar. Este instrumento comprende el espectro visible e infrarrojo cercano, la resolución es de 1 km, y será capaz de proporcionar información sobre la productividad primaria de los océanos, entre otras. La NASA ha planeado ya tres vuelos del Shuttle con el sensor SIR-C/SAR (Spaceborne Imaging Radar-C/X-band Synthetic Aperture Radar, americano, alemán e italiano) a bordo, el cual adquirirá datos multifrecuencia (bandas L, C y X, cuyas longitudes de onda oscilan entre 25 y 3 cm) y de múltiple polarización (Way & Smith, 1991). El RADARSAT (Radar Satellite, canadiense) será lanzado en 1994 y llevará a bordo un sensor SAR monofrecuencia (banda C=5 cm). Otro sistema japonés, el ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) llevará los sensores OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner) y AVNIR (Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer).

Los Earth Observing System son una serie de plataformas espaciales orbitantes destinadas a registrar múltiples parámetros biológicos, físicos y químicos de la Tierra. Existen dos series americanas: la serie EOS-A constará de tres plataformas lanzadas consecutivamente, cada una con una vida operativa de 5 años. Los registros de esta serie serán completados por la serie EOS-B. Wickland (1991, Tabla 1, pp. 1929). y Ustin et al. (1991, Tabla 1, pp. 1935) resumen los principales instrumentos de los EOS (más de 30) y sus aplicaciones en ecología. Quizás los más relevantes sean el MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer), HIRIS (High Resolution Imaging Spectrometer), MISR (Multi-Angle Imaging Spectro-Radiometer) y ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer). Con estos instrumentos se podrá medir temperatura de la superficie terrestre, composición de la nieve y el suelo, identificación de minerales, albedo, aerosoles atmosféricos, evapotranspiración y un sinfín de características de la vegetación como cobertura, altura y dispersión de las copas de los árboles, biomasa viva y necromasa, fenología, crecimiento estacional, concentraciones de clorofi-

la, lignina y celulosa, agua radiación fotosintéticamente activa, etc. Otro aparato del EOS, el MOPITT (Measurement of Pollution in the Troposphere) podrá medir perfiles verticales de monóxido de carbono y posiblemente de metano. Serán lanzados, además, el EPOP (European Polar Orbiting Platform) y el JEOS (Japanese Earth Observing System), con instrumentos de interés en ecología.

El Geostationary Earth Observing System (GEOS) constará de 5 satélites, probablemente tres americanos, uno europeo y otro japonés. Proporcionarán una cobertura completa y continua de la Tierra entre las latitudes de 60 grados Norte y Sur, y sus instrumentos medirán la humedad del suelo y cambios diurnos de la vegetación, entre otras características.

Respuesta a cuestiones ecológicas específicas

Existe un número de artículos y libros que discuten en detalle los usos actuales y potenciales de la teledetección en estudios biológicos (Robinson, 1985; Gregor, 1986; Asrar, 1989; Wickland, 1989; Graetz, 1990 y Hobbs and Mooney, 1990). Estos trabajos y otros describen el uso de técnicas de teledetección para la clasificación de la cobertura del suelo, detección de pautas fenológicas de la vegetación, frecuencia y extensión de incendios forestales, extensión y pautas de la inundación, humedad del suelo, temperatura de la superficie de los océanos y de la tierra y estrés de la vegetación. A pesar de que existen varias herramientas de teledetección que han demostrado estar listas para ser utilizadas, han sido sorprendentemente poco utilizadas por los ecólogos (Roughgarden et al, 1991). La literatura está llena de artículos que demuestran el uso potencial de datos de teledetección en estudios biológicos o de aplicación en la gestión del territorio, pero de hecho son muy limitados los estudios que han utilizado datos de teledetección para enfrentarse a cuestiones e hipótesis ecológicas específicas. A continuación describimos dos ejemplos que corresponden a este ámbito en los que participamos directamente.

BIODIVERSIDAD Y ESCALA

Uno de los principales problemas en ecología es el de la escala (Wiens, 1992). Este problema dificulta a menudo la aplicación de estudios ecológicos que son muy dependientes «persé» de la escala considerada, como es el caso de la biodiversidad. Rey & Pope (1992) y Pope et al. (1992a) cartografiaron con el Thematic Mapper a escala regional (superficie de centenares de kilómetros cuadrados) diversos parámetros de biodiversidad en las selvas guatemaltecas. Estos incluyen el número de tipos de vegetación, su dominancia y la riqueza potencial de especies en cada una de las fracciones de terreno de un área de estudio piloto. La riqueza poten-

cial de especies fue deducida conectando un modelo previamente establecido de biodiversidad de las comunidades vegetales (superficie de pocos metros cuadrados) con las clases espectrales proporcionadas por el Thematic Mapper y una doble clasificación no supervisada. El producto es un mapa que representa una rejilla de celdas equivalentes a 0,85 Km² cuya combinación de colores (rojo, verde y azul) da idea de las características de biodiversidad de dicha fracción del territorio. Esta técnica podría ser utilizada en toda la región kárstica de Centroamérica, y en otras partes del mundo siempre que se conecte previamente un modelo de biodiversidad «de campo» con las clases espectrales. Los mapas producidos en este estudio serán utilizados por Conservation International y las autoridades guatemaltecas para diseñar la red de espacios protegidos de la Reserva Maya de la Biosfera y coadyuvar a un desarrollo respetuoso con la naturaleza.

Otro resultado de este estudio es que la banda TM4 (infrarrojo cercano) es la que mejor explica la variabilidad de los «patterns» de biodiversidad encontrados. La banda TM4, bien sea sola o en combinación con otras bandas en forma de «índices de vegetación» ha sido repetidamente relacionada con la fitomasa acumulada y productividad (Waring, 1983; Linder, 1986). En otros estudios realizados por este autor, se encontró que la productividad es el factor primario que controla la diversidad de la cobertura vegetal del paisaje a escala global (Scheiner and Rey Benayas, under review). Por otro lado, Rey and Scheiner (1993) encontraron una relación inversa entre el número de especies de las comunidades vegetales de los humedales de Los Arenales (cuenca del Duero) y el contenido de sales en el suelo (estrés edáfico), el cual a priori parece estar inversamente relacionado con la productividad primaria. Vemos que la productividad, que puede medirse con sensores remotos, está relacionada y parece controlar la diversidad de la cubierta vegetal a tres escalas diferentes: global, regional (selvas centroamericanas) y local (humedales de los Arenales).

CAMBIO CLIMÁTICO Y HUMEDALES

Otro tema «caliente» en la actualidad es el cambio climático, íntimamente ligado al ciclo del carbono. Por ejemplo, todavía es controvertido si la cobertura vegetal terrestre es una fuente o un sumidero de carbono (Tans et al, 1990). Otras cuestiones son más conocidas, como el papel de los humedales en la acumulación de grandes cantidades de carbono (turba) (Etherington, 1984). Para poder profundizar en este tema es imprescindible el conocer las pautas de inundación-deseccación de estos ecosistemas altamente fluctuantes. En las regiones tropicales el uso de sensores ópticos resulta a menudo impedido por la densa cobertura de nubes, pero los sensores radar (espectro de las

microondas, que penetran hasta las nubes más espesas) pueden proporcionar buenos resultados.

Pope y otros autores (1992b y trabajos posteriores) estudiaron con un sensor AIRSAR (Airborne Synthetic Aperture Radar) de la NASA los ecosistemas de una región de Belize. Este sensor es de frecuencia y polarización múltiples, presentando tres bandas de 68, 24 y 5,7 cm (P, L Y C, respectivamente) que son emitidas y recogidas en polarización vertical y horizontal. Estos autores cartografiaron 16 tipos naturales y distintos de cubierta vegetal en la región de Belize, incluyendo 7 tipos de humedales herbáceos «marshes», 4 tipos de bosques pantanosos «swamp forests» y un tipo de matorral pantanoso «Swamp thicket». Dentro de estas categorías, lograron distinguir los humedales inundados de los no inundados. El parámetro AIRSAR que mejor discriminaba los diferentes tipos de ecosistemas es el denominado ITI «Interaction Type Index», que proporciona información sobre el número de veces que las ondas radar interactúan con el blanco. En los humedales inundados, por ejemplo, el agua actúa como una superficie especular que provoca el doble «rebote» de la microonda (primero con el agua y después con las estructuras vegetales), recibiendo el sensor una señal más fuerte.

Aunque el sensor AIRSAR que irá a bordo de los Shuttle es ligeramente distinto (sustituye la banda C por la banda X, de menor longitud de onda), se prevén unos buenos resultados en la investigación de la inundación de humedales, máxime teniendo en cuenta que estas misiones volarán en distintas estaciones climáticas.

CONSIDERACIONES FINALES

Ante lo expuesto en los párrafos precedentes caben las siguientes preguntas: ¿merece realmente la pena el utilizar la teledetección en estudios ecológicos?, ¿es de aplicación restringida?, ¿ofrece garantías actualmente o es algo para tener en cuenta en el futuro?, ¿es de momento algo complicado e inaccesible para la mayor parte de los ecólogos? A continuación vamos a intentar contestar estas preguntas.

La teledetección ofrece a la ecología la capacidad de trabajar con datos a escalas amplias y sinópticas. Las hipótesis precedentes relativas a problemas de gran escala son, sobre todo, extrapolaciones de resultados estimados a escalas menores. Se tiene ahora la oportunidad de medir los procesos a gran escala como realmente son. Es el único medio que permite la observación de problemas globales regular, consistente y sinópticamente, también, es, junto a la aplicación de modelos por ordenador «computer modelling», el único medio que posibilita la interpretación de cuestiones a una escala amplia. Además tenemos acceso a datos más continuos y largos en el tiempo. Ello permite el estudio de fenómenos que se caracteri-

zan precisamente por esto, por la evolución en el tiempo (por ejemplo, deforestación). Los instrumentos de los Earth Observing System constituyen, en concreto, la más firme promesa para los ecólogos, ya que proporcionarán inmensas cantidades de datos de muy diversa naturaleza y tomados continuamente durante al menos 15 años ininterrumpidos.

El hecho de que la teledetección no haya sido utilizada por los ecólogos con mayor profusión tiene sus explicaciones. En primer lugar hay que distinguir el objeto mismo de las aplicaciones de la teledetección y las corrientes científicas que han sido más cultivadas por los ecólogos. Ahora existe una preocupación por los temas globales (clima, ciclos biogeoquímicos, diversidad) que no existía anteriormente. En el pasado reciente se ha prestado mucha atención, por ejemplo, a la ecología de comunidades, escala a la cual la teledetección era una herramienta de poca utilidad. El hecho de que actualmente los ecólogos miren más como pájaros que como hormigas revaloriza esta técnica, máxime teniendo en cuenta que los Sistemas de Información Geográfica (programas muy nuevos) permiten ampliar el tratamiento cuantitativo (ordenación, clasificación, etc.) de múltiples datos en áreas amplias.

Otro impedimento aludido repetidamente es la carestía del material necesario (imágenes digitalizadas, programas de interpretación de imágenes o «software», ordenadores y accesorios o «hardware»). Afortunadamente hoy podemos afirmar que el inconveniente económico ya no lo es tanto. Un cuarto de escena de Landsat Thematic Mapper de 90x90 km puede adquirirse a partir de 270.000 Pts. (precio en España), precio bastante más barato que lo que costaría adquirir las fotografías aéreas pancromáticas de escala 1:18.000 para la misma superficie. La compra de la misma escena geográfica tomada en diferentes tiempos abarata los precios. El «hardware» es cada vez más barato, y probablemente la competencia por el mercado de las marcas de «software» hará estabilizar e incluso disminuir sus precios. En concreto, se puede adquirir un programa de Interpretación de Imágenes/Sistema de Información Geográfica a partir de 3.000 dólares y utilizarlo en un equipo personal de unos 6.000 dólares (precios en Estados Unidos).

Actualmente el problema principal radica en la falta de comunicación existente entre profesionales de la teledetección y los de la ecología (Roughgarden et al, 1991). Los especialistas en teledetección no son especialistas en ecología, y viceversa. Particularmente en España, existe una asombrosa carencia de ecólogos que utilicen esta herramienta, aunque es bastante utilizada por los agrónomos y geógrafos, por ejemplo. Nos gustaría desde estas líneas llamar la atención sobre la necesidad de conjugar teledetección y ecología, establecer programas coordinados que sean capaces de formar especialistas en ambos campos, y divulgar las

posibilidades existentes entre los estudiantes más jóvenes. Debemos eliminar el mito de considerar a las técnicas de teledetección como algo difícil de aprender. Los programas necesarios son cada vez más fáciles de usar y la mayoría de las compañías ofrecen cursos de entrenamiento y de profundización periódicos. Debemos también eliminar el mito de que la teledetección es cara y de aplicaciones muy limitadas. En discusiones con diferentes colegas hemos podido percibir como todavía se compara, un poco ingenuamente a nuestro entender, «resultados obtenidos mediante teledetección» con «resultados obtenidos con trabajo de campo». Ambos tipos de resultados no son comparables, son simplemente complementarios. Espero que estas consideraciones animen a ampliar la perspectiva de la solución de los problemas ecológicos en la Tierra ...desde el espacio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a José Luis Labrandero y Javier Martínez el animarme a escribir este artículo. Juan José Ibáñez y José María Rey Arnáiz criticaron y mejoraron una versión preliminar de este trabajo. Los dos estudios aplicados de teledetección que han sido expuestos en este artículo fueron realizados con Kevin O. Pope y Jack F. Paris. Los estudios de biodiversidad a escala global y local aludidos fueron realizados con Samuel M. Scheiner.

BIBLIOGRAFIA

- ASRAR, G. (edi) (1989). *Theory and applications of optical remote sensing*. New York, John Wiley & Sons.
- CEES. (1991). *Our changing planet: the FY 1992 U.S. Global Change Research Program*, Washington, D.C. Committee on Earth and Environmental Sciences of the Office of Science and Technology Policy Federal Coordinating Council on Science, Engineering, and Technology.
- ETHERINGTON, J.R. (1983). *Wetland Ecology, Studies in Biology*, 154. London. Edward Arnold Publishers.
- GRAETZ, R.D. (1990). «Remote sensing of terrestrial ecosystem structure: and ecologist's pragmatic view»: 5-30 in R.J. Hobbs and H.A. Mooney, (eds). *Remote sensing of biosphere functioning*. New York, Springer-Verlag.
- GREGOR, D.H., JR. (1986). «Ecology from space». *Bioscience*, 36: 429-432.
- HOBBS, R.J. and MOONEY, H.A. (1990). *Remote sensing of biosphere functioning*. New York, Springer-Verlag.
- IGBP (1988). «The International Exosphere-Biosphere Programmed: a study of global change, IGBP, a plan for action». *Global Change Report Number 4*. Stockholm IGBP.
- LINDR, S. (1986). «Potencial and actual production in Australian forest stands»: 11-35 in J.J. Landsberg and W. Parson (eds). *Research for forest management*. Melbourne CSIRO.
- LUBCHENCO, J. et al, (1991). «The Sustainable Biosphere Initiative: an ecological research agenda», *Ecology*, 72: 371-412.
- NRC. (1986). «Global change in the exosphere-biosphere; initial priorities for an IGBP.» Washington, D.C. *National Academy Press*.
- NRC. (1988). «Space science in the twenty-first century: imperatives for the decades 1995-2015. Mission to planet Earth». Washington, D.C. *National Academy Press*.
- MATSON, P.A. and USTIN, S.L. (1991). «The future of remote sensing in ecological studies». *Ecology*, 72: 1917.
- POPE, K.O., REY, J.M. y BACKUS, E.H. (1992a). «Caracterización de bosques y biodiversidad en América Central mediante imágenes de satélite Landsat y radar aerotransportado». Washington DC. Informe de Conservation International (versión en español).
- POPE, K.O., REY, J.M. and PARIS, J.F. (1992b). «Characterization of wetland, forest and agricultural ecosystems in Belize with Airborne Radar (AIRSAR)». In J. van Zyl (edi), en Summaries of the Third Annual JPL Geoscience Workshop. *JPL Publications* 92-14, vol. 3, 18=20.
- POPE, K.O., REY, J.M. and PARIS J.F. (under review). «Radar remote sensing of forest and wetland ecosystems in the Central American tropics». *Remote Sensing of the Environment*.
- REY, J.M. and POPE, K.O. (1992). «Characterization of seasonal tropical ecosystems with Landsat TM». *En 77th Annual meeting of the Ecological Society of America*. August 9-13, Honolulu, USA.
- REY, J.M. and SCHEINER, S.M. (1993). «Diversity patterns of wet meadows along geochemical gradients in Central Spain», *J. of Vegetation Science*. 4: 103-108.
- ROBINSON, I.S. (1985). *Satellite oceanography*. Chichester. Ellis Horwood.
- ROUGHGARDEN, J., RUNNING, S.W. and MATSON, P.A. (1991) «What does remote sensing do for ecology?» *Ecology*, 72: 1918-1922.
- SABINS, F.F. JR. (1986) *Remote Sensing. Principles and Interpretation*. New York, Freeman & Co.
- SCHEINER, S.M. and REY, J.M. (under review). «Global patterns of plant diversity», *Evolutionary Ecology*.
- TANS, P.P., Fung, I.Y. and TAKAHASHI, T. (1990). «Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget», *Science*, 247: 1431-1438.
- USTIN, S.L., et al, (1991). «Opportunities for using the EOS imaging spectrometers and synthetic aperture radar in ecological models», *Ecology*, 72: 1934-1945.
- WARING, R.H. (1983). «Estimating Forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area», *Advances in Ecological Research*, 13: 327-354.
- WAY, J. and SMITH, E.A. (1991). «The evolution of synthetic aperture radar systems and their progression to the EOS SAR», *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 29: 962-985.
- WICKLAND, D.E. (1989) «Future directions for remote sensing in terrestrial ecology research». 691-724 in G. Asrar, (ed). *Theory and applications of optical remote sensing*. New York, John Wiley & Sons.
- WICKLAND, D.E. (1991). «Mission to Planet Earth: the ecological perspective», *Ecology*, 72: 1923-1933.
- WIENS, J.A. (1992). «Ecology 2000: an essay on future directions in ecology», *Bulletin of the Ecological Society of America*, 73: 165-170