

Aplicaciones de la Teledetección en España en el contexto del Protocolo de Kyoto

González-Alonso, Federico^{1, a}; Merino-de-Miguel, Silvia^b

^(a)Laboratorio de Teledetección – CIFOR – INIA, Ctra. A Coruña km 7.5 Madrid 28040, España.

^(b)EUIT Forestal – Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n Madrid 28040, España.

RESUMEN

El presente trabajo se centra en las capacidades de la teledetección para ayudar en la evaluación de los bosques como sumideros de carbono. Se trata de buscar relaciones estadísticamente significativas entre datos NDVI obtenidos a partir de imágenes SPOT-VEGETATION y NOAA-AVHRR y datos de campo procedentes de los Inventarios Forestales Nacionales. Dichas relaciones servirán en la predicción de la cantidad de biomasa forestal a escala nacional, de forma que podrá obtenerse información actualizada en el lapso que transcurre entre inventarios forestales consecutivos.

Palabras claves: teledetección, sumideros de carbono, Protocolo de Kyoto.

ABSTRACT

The present paper is focused on the capabilities of remote sensing data and techniques to help in the monitoring of forest ecosystems as carbon sinks. In particular, it attempts to find statistical relationships between satellite-derived NDVI data from SPOT-VEGETATION and NOAA-AVHRR and field measurements from the Spanish National Forest Inventories on a province basis. These relationships could then be used to predict forest biomass levels at a national scale in order to obtain updated forest information between consecutive national forest inventories.

Keywords: remote sensing, carbon sinks, Kyoto Protocol.

Introducción

El Protocolo de Kyoto supone el compromiso para la reducción de las emisiones netas de CO₂ y otros gases de efecto invernadero hasta rebajar un 5% los niveles de 1990. Sin embargo, el propio Protocolo recoge como medida alternativa a la reducción, un incremento de los sumideros de carbono representados por la vegetación. La asimilación de CO₂ por los ecosistemas vegetales terrestres, y especialmente por los bosques que pueden considerarse una reserva a largo plazo, es un componente clave del balance global de carbono. La vegetación se comporta como un

sumidero de carbono mientras exista crecimiento y se comporta como fuente de carbono por mortalidad o ante una perturbación.

El Protocolo de Kyoto entró en vigor el pasado 16 de febrero de 2005. Dado que se trata de un tratado que obliga a los países firmantes (España entre ellos), distintos sistemas de control y verificación deberán ponerse a punto tanto a escala nacional como global. Para aquellos aspectos que se refieren a la contabilidad del carbono en caso de cambio en el uso del suelo (deforestación, reforestación y aforestación) o por cambios en la productividad (es decir, cambios en la cantidad de biomasa acumulada), se deberán utilizar sistemas fiables y eficientes que

¹ Contacto autor: Te: +34 91 347 6828

Correo electrónico: alonso@inia.es

Copyright: Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

permitan hacer evaluaciones periódicas. En este sentido, la teledetección parece estar bien posicionada ya que: (i) la identificación de los cambios de usos del suelo está bien desarrollada, y (ii) las estimaciones de biomasa a partir de datos de campo y de satélite resultan bastante fiables.

La situación de España en relación al grado de cumplimiento de los compromisos de emisión de CO₂ respecto al año base de 1990, es bastante comprometida, pues en 2004 ya se superaron en un 34% los niveles autorizados de emisión, que son de un 15% con respecto a 1990.

Estudios llevados a cabo con datos NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) obtenidos a partir de imágenes NOAA (Nacional Oceanic and Atmospheric Administration) – AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) ponen de manifiesto que durante los últimos años se ha venido produciendo un incremento en las reservas de carbono de los bosques boreales y templados, hecho que se ha constatado tanto a escala regional como global.

En el caso de España, los datos de campo procedentes del Segundo (1986-1996) y Tercer (1996-2006) Inventario Forestal Nacional (IFN2 e IFN3), también confirman tanto un incremento de la cantidad de biomasa como un aumento de la superficie forestal. La información aportada por los IFNs es fundamental para la gestión forestal, sin embargo, no se dispone de información actualizada en el intervalo que transcurre entre dos inventarios consecutivos, lo cual es necesario de cara a verificar los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto. En este sentido, la teledetección puede ser una herramienta clave en la expansión espacial y temporal de los datos de campo, de manera que se puedan actualizar los datos de existencias forestales a nivel nacional, de forma eficiente y con la periodicidad requerida (anualmente).

El presente trabajo trata de la puesta a punto de una metodología para la utilización de datos SPOT-VEGETATION y NOAA-AVHRR en la actualización de las existencias forestales en España a nivel nacional de cara a la verificación del cumplimiento de los compromisos adquiridos en la firma del Protocolo de Kyoto. El objetivo es llegar a predecir las existencias forestales (volumen maderable) a partir de una o varias de las variables que pueden generarse a partir de los datos captados por los sensores remotos. Una vez estimadas aquéllas, habría que aplicar los coeficientes correspondientes

para pasar a cantidad de biomasa y de ésta a cantidad de carbono.

La estimación de biomasa forestal a través de series temporales de NDVI se basa en que este índice espectral de vegetación ha demostrado ser representativo del vigor de la vegetación, ser un buen indicador de la actividad fotosintética y presentar correlaciones positivas con las existencias forestales, tanto a escala global (Nemani et al., 2003; Zhou et al., 2001; Myneni et al., 1997) como a escala regional o nacional (González-Alonso et al., 2004a y b; González-Alonso et al., 2003^a).

Estimación de existencias forestales

Para llevar a cabo la estimación de existencias forestales se disponía de los datos del IFN2 (toda España excepto Canarias, 48 provincias) y del IFN3 para 27 provincias, así como de series NDVI de SPOT-VEGETATION para el periodo 1998-2005 y de NOAA-AVHRR para el periodo 1996-2005. En base a las series de NDVI de ambos sensores y a los datos de los IFN se llevaron a cabo estimaciones de existencias forestales empleando regresiones simples y múltiples. Otro de los objetivos del trabajo era comparar las series de NDVI de dos sensores distintos para predecir las existencias forestales del IFN3. También se pretendía ver el efecto de introducir datos de existencias del IFN2 en las regresiones. Los cálculos se realizaron siempre con base provincial. Se emplearon los siguientes datos: (i) existencias medias y totales provinciales del IFN3 (27 provincias) e IFN2 (toda España), (ii) una máscara forestal elaborada a partir del Corine Land Cover 2000 (CLC2000) y (iii) series temporales de NDVI de los sensores VEGETATION y AVHRR, cuyas características se resumen en la Tabla 1.

Ambos conjuntos de imágenes se procesaron por separado, y se obtuvieron las medias anuales, empleando 27 ficheros por año de compuestos máximos de diez días de NDVI en el caso de SPOT-VEGETATION y 7 ficheros por año de compuestos máximos mensuales para NOAA-AVHRR. A partir de las medias anuales se calculó el NDVI medio del periodo de estudio (98-05 para SPOT y 96-05 para NOAA). La máscara de terreno forestal arbolado obtenida a partir del CLC2000, se aplicó a los dos ficheros de NDVI anteriores, obteniendo para cada provincia el valor medio de NDVI de las superficies forestales arboladas para el periodo de estudio.

Tabla 1. Principales características de las series de datos SPOT y NOAA empleadas

	SPOT -VGT	NOAA-AVHRR
Periodo de estudio	1998-2005	1996-2005
Meses considerados	Febrero-octubre	Marzo-septiembre
Compuestos NDVI	Máximo decenal (27/año)	Máximo mensual (7/año)
Resolución espacial	1000m	1000m

De esta forma, se dispone de datos de NDVI y de existencias forestales del IFN2 para las 48 provincias de estudio, y de datos del IFN3 para 27 de ellas. Se realizó un análisis estadístico a partir de los datos de esas 27 provincias, con el fin de obtener una ecuación de predicción que pudiera luego aplicarse a las 48 provincias. Se relacionaron los datos de existencias y de NDVI mediante regresiones lineales simples y múltiples (RLS y RLM respectivamente, explicadas en la Tabla 2). Estos análisis se hicieron para la información de ambos sensores, y considerando las existencias de los IFN tanto en m³ como en m³/ha.

Tabla 2. Descripción de los tipos de regresión empleados

	RLS	RLM
Tipo	Lineal simple	Lineal múltiple
Variables independientes	NDVI medio	NDVI medio; existencias IFN2
Variable explicada	Existencias IFN3	

Como primer resultado interesante, cabe destacar que la correlación entre los valores medios del periodo de NDVI procedentes de los dos sensores es bastante elevada ($r^2=86.10\%$), pese a las diferencias existentes entre ambas series de datos (ver Tabla 3). Sin duda, una de las principales ventajas de la utilización de series temporales de datos es la homogeneidad de la información.

Los datos de NDVI mostraron una correlación más fuerte con las existencias referidas a superficie (m³/ha) que con las existencias en valor absoluto (m³), lo cual ya había sido constatado en estudios anteriores (González-Alonso et al.,

2004a). De aquí en adelante se considerarán sólo los resultados obtenidos para m³/ha. El coeficiente de determinación (r^2 en %) y el error cuadrático medio (ECM en m³/ha) correspondientes a las Regresiones Lineales Simples (RLS) y Múltiples (RLM) llevadas a cabo se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de las regresiones a partir de datos de NDVI y de existencias en m³/ha

	RLS	
	r ² (%)	ECM(m ³ /ha)
SPOT-VGT	73.51	16.45
NOAA-AVHRR	76.27	15.57
	RLM	
	r ² (%)	ECM(m ³ /ha)
SPOT-VGT	94.24	7.37
NOAA-AVHRR	94.70	7.07

Como puede observarse, los resultados son bastante parecidos para ambos tipos de imágenes, aunque algo mejores para NOAA-AVHRR. El coeficiente de determinación entre datos del IFN3 y de NDVI (RLS) es bastante elevado y estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 99%, lo que indica la estrecha relación entre las existencias y las medias de NDVI. Sin embargo, el ECM de las RLS es demasiado elevado, ya que iguala prácticamente los m³/ha del IFN3 de algunas provincias. Al incluir los datos del IFN2 como variable explicativa (RLM) todos los indicadores mejoran considerablemente (para un nivel de confianza del 99%), por lo que las regresiones lineales múltiples se consideraron más fiables.

Las ecuaciones de regresión obtenidas a partir de las RLM se aplicaron a las 48 provincias de estudio, obteniendo los m³/ha predichos. Empleando las superficies arboladas del CLC2000 como factores de expansión se hallaron las existencias estimadas (en m³), y se calcularon los incrementos provinciales referidos al IFN2. Para calcular el incremento de existencias a nivel nacional se emplearon los datos del IFN3 de las 27 provincias disponibles, y los datos estimados para las restantes. El incremento a nivel nacional referido al IFN2 resultó ser un 51.34% utilizando datos SPOT-VEGETATION y un 49.85% utilizando datos NOAA-AVHRR. El incremento experimentado entre ambos inventarios en las 27 provincias empleando sólo datos del IFN3 es de un 53.15%, por lo que las cifras obtenidas con las estimaciones no se alejan mucho de las procedentes de información de

campo. Hay que considerar además que los incrementos estimados están algo subestimados, debido a que las superficies forestales arboladas CLC2000 son inferiores a las del IFN3. De aquí se deduce la gran importancia de contar con una buena cartografía actualizada de terreno forestal arbolado.

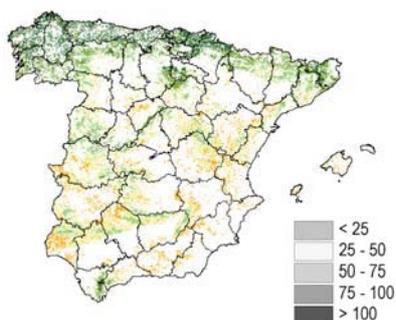


Fig. 1. Estimaciones de biomasa (en m³/ha) a partir de datos NOAA-AVHRR calculadas a partir del modelo lineal simple

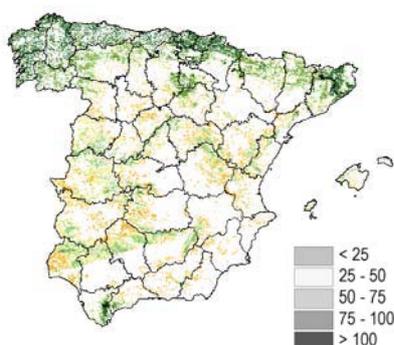


Fig. 2. Estimaciones de biomasa (en m³/ha) a partir de datos SPOT-VEGETATION calculadas a partir del modelo lineal simple

Las ecuaciones de regresión obtenidas a partir de las RLS se aplicaron sobre las 48 provincias de estudio obteniendo los m³/ha predichos. En esta ocasión, estas ecuaciones fueron aplicadas sobre los ficheros que contienen los valores medios de NDVI filtrados con la máscara forestal creada a partir de las superficies arboladas del CLC2000. Los resultados, tanto para datos NOAA-AVHRR como SPOT-VEGETATION, aparecen en las Fig. 1 y Fig. 2.

Inclusión de variables geográficas

En esta fase del trabajo se emplearon datos del IFN3 (31 provincias), y datos de NDVI de NOAA-AVHRR correspondientes al periodo 1996-2005. Se disponía también de los datos del IFN2 para la totalidad de las provincias españolas. En base a las series de NDVI y a los datos del IFN2 se llevaron a cabo estimaciones de existencias forestales mediante regresiones simples y múltiples, empleando variables geográficas (latitud-longitud) para estratificar la muestra de provincias, y ver cómo dicha estratificación afecta a las regresiones. Los cálculos se realizaron sólo con datos de NDVI de NOAA-AVHRR, puesto que en el apartado anterior se comprobó que los resultados obtenidos son muy similares y ligeramente mejores a los obtenidos con datos SPOT-VEGETATION.

De forma análoga se emplearon los siguientes datos: (i) existencias medias y totales provinciales del IFN3 (disponible para 31 provincias) e IFN2 (disponible para toda España), (ii) una máscara forestal elaborada a partir del CLC2000 y (iii) series temporales de NDVI de los sensores NOAA-AVHRR, con datos hasta el año 2005.

Las existencias de volumen con corteza a nivel provincial (en m³/ha) del IFN2 e IFN3 se relacionaron con las series temporales de NDVI cuyas características se resumen en la Tabla 4. Los cálculos se realizaron siempre con base provincial y únicamente para los píxeles que la cartografía CLC2000 considera terreno forestal arbolado.

Tabla 4. Principales características de las series de datos SPOT y NOAA empleadas

	NOAA-AVHRR
Periodo de estudio	1996-2005
Meses considerados	Febrero-octubre
Compuestos NDVI	Máximo mensual (9/año)
Resolución espacial	1000m

Para obtener las variables de latitud y longitud se calculó el centroide (x, y) de las 31 provincias. Los datos de existencias forestales del IFN2 y el IFN3, junto con los datos obtenidos de latitud y longitud para las 31 provincias, se emplearon para construir un modelo de regresión múltiple con la finalidad de obtener una relación estadística significativa entre existencias forestales y NDVI. A continuación se presenta la ecuación

ción general de regresión múltiple con los diferentes datos empleados:

$$\text{IFN3} = a + b \cdot \text{NDVI} + c \cdot \text{IFN2} + d \cdot \text{latitud} + e \cdot \text{longitud} \quad (2)$$

Siendo, IFN3: biomasa arbórea (m^3/ha), datos de 31 provincias; NDVI: valor medio de cada provincia (febrero-octubre 1996-2005, NOAA-AVHRR); IFN2: biomasa arbórea (m^3/ha), datos de todas las provincias; Latitud: valor del centroide de cada provincia y Longitud: valor del centroide de cada provincia.

Para el análisis de regresión múltiple se empleó como variable dependiente los datos de existencias forestales del IFN3, y como variables independientes las series de datos del IFN2, NDVI, latitud y longitud. Dichas variables independientes se combinaron de varias formas calculando en todos los casos el coeficiente de determinación (r^2 en %) y el error cuadrático medio (ECM en m^3/ha).

Los mejores resultados se obtuvieron al considerar el conjunto de las variables independientes ($r^2 = 97.24$). Si comparamos este resultado con el obtenido en el caso de considerar únicamente como variable el IFN2, el r^2 disminuye considerablemente ($r^2 = 94.52$).

Si además de tener como variable independiente el IFN2 añadimos el NDVI el coeficiente de determinación aumenta ($r^2 = 95.70$). Si además añadimos la latitud y la longitud vemos que son factores que aumentan la correlación entre las variables independientes con respecto a la dependiente (IFN3). Los resultados obtenidos son mejores que los del apartado anterior, en el que únicamente se consideraban los datos NDVI e IFN2 como variables independientes.

Para calcular el incremento de existencias a nivel nacional se emplearon los datos del IFN3 de las 31 provincias disponibles, y los datos estimados para las restantes. En el caso más favorable (considerando todas las variables independientes) el incremento resultó de 48.03%. El incremento experimentado entre ambos inventarios en las 31 provincias empleando sólo datos del IFN3 es de un 55.82%. Si solo se tienen en cuenta NDVI e IFN2 como variables independientes, se obtiene un incremento de 52.82%, muy próximo al correspondiente a los datos reales. Por consiguiente, se creyó conveniente aplicar estas variables (IFN2, NDVI) en los cálculos posteriores.

Estimación del carbono almacenado y comparación con los resultados obtenidos por otros estudios.

Para cuantificar el carbono en terreno forestal se han seguido las exigencias de la Naciones Unidas publicadas en el informe «Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (GPG-LULUCF)». Esta guía provee métodos y buenas prácticas para estimar, cuantificar e informar de los cambios que ocurren en los sumideros de carbono.

Para cuantificar el carbono almacenado en la biomasa viva en terreno forestal que sigue siendo forestal, se usó la ecuación 3.2.3 que propone la guía GPG-LULUCF anteriormente nombrada. Esta ecuación se ha aplicado a nivel nacional, realizando un promedio a partir de datos provinciales obtenidos anteriormente.

$$C = (V \cdot D \cdot \text{BEF}) \cdot (1 + R) \cdot \text{CF} \quad (3)$$

Siendo, C: carbono almacenado en la biomasa viva (tn/ha); V: volumen maderable IFN3 (m^3/ha); D: densidad básica de la madera (tn/m^3); BEF: factor de expansión de la biomasa (adimensional); R: biomasa subterránea -raíces- (adimensional) y CF: fracción de carbono de materia seca (por defecto siempre igual a 0.5).

El valor del volumen maderable (V) se ha extraído de los datos de IFN3 (promedio provincias), tanto reales como estimados a partir de la ecuación que considera NDVI e IFN2 como variables independientes.

El dato de densidad básica (D) se extrajo de la tabla 3A.1.9-1 de la GPG-LULUCF. En dicha tabla aparecen los valores de D diferenciados por especies de clima temperado, pero como a lo largo del desarrollo de este trabajo no se ha diferenciado entre especies, se ha creído conveniente calcular la media y aplicarla en la fórmula.

Los valores de Factores de Expansión de Biomasa (BEF) se encuentran recogidos en la tabla 3A.1.10 de la GPG-LULUCF. Tal y como sucedía con los valores de D, el BEF está diferenciado por especies en 3 tipos de climas. En nuestro caso hemos calculado un promedio de los valores de BEF de clima temperado.

Con los tres factores expuestos hasta el momento, se estima la biomasa aérea. Para conseguir toda la biomasa del árbol se debe incorporar la biomasa subterránea aportada por las raíces, aplicando el coeficiente $1+R$. Los datos de R están recogidos en la tabla 3A.1.8 de la GPG-LULUCF, donde aparecen las medias de R según diferentes especies. En nuestro caso, hemos realizado el promedio de las siguientes especies de bosques de coníferas y frondosas.

Empleando estos coeficientes, los valores aplicados en la ecuación fueron los siguientes:

$$C = (54.76 \cdot 0.46 \cdot 1.33) \cdot (1+0.33) \cdot 0.5$$
$$C = 22.28 \text{ tn/ha} \quad (4)$$

Se ha comparado este resultado con el extraído en el documento de «Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. España. Informe nacional» publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Departamento Forestal en el año 2005. En este informe aparece una tabla con las estimaciones de carbono en la biomasa para los años 1990, 1998, 2000 y 2005. Hay que tener en cuenta que los datos calibrados de 1990 y 1998 fueron utilizados para una proyección a los años 2000 y 2005, mediante una extrapolación lineal.

Para poder comparar las tn/ha de C obtenidas en este trabajo con los datos que proporciona la FAO, se ha multiplicado el valor de 22.28 tn/ha por la superficie forestal arbolada en ha (empleando valores del IFN3 para las 31 provincias disponibles y de CLC2000 para el resto). El resultado ha sido de 397 millones de tn (22.28tn/ha * 17,831,676 ha). En dicho informe se muestra que el subtotal de C en la biomasa viva en el año 2005 es de 392 millones tn, mientras que el extraído en este trabajo ha sido de 397 millones tn. Es decir, la diferencia es mínima, del 1%, ya que los datos de origen usados en ambos casos provienen de los Inventarios Forestales Nacionales (IFN) elaborados por el Ministerio de Medio Ambiente. Hay que tener en cuenta que los datos de 2005 de la FAO se han extrapolado a partir de los correspondientes a los años 1990 y 1998. En este trabajo, los datos se han extrapolado del periodo 1996-2005 (imágenes de satélite) e IFN2 (1986-1996) e IFN3 (1996-2006).

Hay entonces que concluir que la metodología usada por el Ministerio de Medio Ambiente se refiere exclusivamente a trabajo de campo. En cambio, en este trabajo se han combinado estos datos de campo con provenientes de satélite y el resultado ha sido satisfactorio.

A su vez, se comparó el resultado obtenido en este trabajo con el obtenido por Montero et al. (2005). Para poder realizar esta comparación, el resultado de 22.28 tn/ha C se transformó en tn de CO₂. Este cálculo se ha realizado de la siguiente manera:

$$22.28 \text{ tn/ha C} \cdot 44/12 = 81,70 \text{ tn/ha CO}_2 \quad (5)$$

Posteriormente, este valor se ha multiplicado por la superficie forestal arbolada en ha (empleando valores del IFN3 para las 31 provincias disponibles y de CLC2000 para el resto), resultando un total de 1456 millones tn CO₂ (81,70 tn/ha CO₂ * 17831676 ha).

El resultado de CO₂ fijado en 2004 obtenido por Montero et al. (2005) fue de 2858 millones tn para la biomasa total, el doble de tn que se han obtenido en este trabajo. Es necesario destacar que la metodología usada en ambos casos es bastante dispar, ya que el trabajo de Montero *et al.* distingue entre especies e incluso entre pies de una misma especie, y en los métodos seguidos en este trabajo no se diferenciaron especies.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos y a los trabajos consultados, puede asegurarse que la teledetección es una herramienta fundamental para la gestión y seguimiento de los recursos forestales, y en concreto para obtener la información relativa a sumideros de carbono necesaria para elaborar los informes requeridos por el Protocolo de Kyoto. Es necesario desarrollar tecnologías robustas y operativas que aporten transparencia, eficiencia en los costes y precisión, y que permitan una actualización y desarrollo continuos. La investigación llevada a cabo supone una contribución en este camino, sobre la que continuar trabajando.

La estimación de existencias forestales a nivel nacional mediante el uso de series temporales del índice espectral NDVI de los sensores SPOT-VEGETATION y NOAA-AVHRR ha revelado una alta correlación entre datos de satélite e información de campo de los IFNs. Se ha comprobado que, al introducir en los análisis de regresión variables geográficas como la latitud y la longitud, la correlación con el IFN3 aumenta considerablemente. El aumento de existencias forestales a nivel nacional empleando datos reales y estimados resulta muy próximo a las cifras obtenidas empleando sólo las provincias que disponen de datos del IFN3, lo que muestra la ayuda que pueden suponer los datos de satélite en este tipo de estimaciones.

La estimación de carbono contenido en los bosques españoles realizada a partir de la biomasa forestal obtenida mediante datos de campo y satélite ha resultado muy próxima a la obtenida por el Ministerio de Medio Ambiente para el informe de la FAO 2005, empleando exclusivamente datos de campo. Se puede concluir que la combinación de datos de campo con datos

provinientes de satélite llevada a cabo en este trabajo ha producido resultados satisfactorios.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al Convenio firmado entre el Ministerio de Medio Ambiente y el INIA (Ministerio de Educación y Ciencia) en materia de 'Evaluación del potencial de los bosques españoles como sumideros de carbono mediante técnicas de teledetección'. Los autores también desean agradecer a Asunción Roldán y a Gemma Ventura la colaboración prestada mientras fueron personal asociado a dicho convenio.

Referencias

- González-Alonso, F., Calle, A., Casanova, J.L., Cuevas, J.M. 2003. La actividad de la vegetación en la España peninsular se incrementó un diecisiete por ciento durante el periodo 1987-2001. X Congreso Nacional de Teledetección, Cáceres, 17-19 Septiembre 2003.
- González-Alonso, F., Cuevas, J.M., Calle, A., Casanova, J.L., Romo, A. 2004a. Spanish vegetation monitoring during the period 1987-2001 using NOAA-AVHRR images. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (1), pp. 3-6.
- González-Alonso F., Calle A., Casanova J.L., Cuevas J.M., 2004b. La actividad de la vegetación en la España peninsular se incrementó un diecisiete por ciento durante el período 1987-2001. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, 21, pp. 47-49.
- IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2003. «Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change».
- <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Editado por Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Ministerio de Educación y Ciencia.
- Myneni, R.B., Keeling, C.D., Tucker, C.J., Asrar, R.G. and Nemani, R.R. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. *Nature*, 386, pp. 698-702.
- Nemani, R.R., Keeling, C.D., Hashimoto, H., Jolly, W.M., Piper, S.C., Tucker, C.J., Myneni, R.B., Running, S.W., 2003. Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999. *Science*, 300, pp. 1560-1562.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Departamento Forestal. 2005 «Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. España. Informe nacional 211».