

Cartografía del sistema español de inventario y proyecciones de emisiones a la atmósfera. Serie Cartográfica LULUCF

REVISTA **MAPPING**
Vol. 29, 202, 42-51
septiembre-octubre 2021
ISSN: 1131-9100

Mapping of the Spanish system of inventory and projections of emissions to the atmosphere. LULUCF Cartographic Series

Marta Lerner Cuzzi, Mónica M^a Fernández Ramiro, Belén Fierro García, M^a Ángeles San Miguel Fraile, M^a Del Mar Esteban García, Juan Carlos Cano, Blanca Ruiz Franco, Ángel Roldán Martínez

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es la creación de una serie cartográfica para el sector LULUCF (usos del suelo, cambios del uso del suelo y silvicultura) adaptada a la Directiva INSPIRE, desde 1970 hasta 2015, que permita la estimación de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero resultantes de las actividades de dicho sector desde 1990 hasta la actualidad.

Para ello, se ha partido del análisis de la cartografía histórica de ocupación del suelo (cobertura y/o uso) de España, seleccionando un total de 14 que han sido situadas en 7 fechas de referencia (1970, 1990, 2000, 2006, 2009, 2012 y 2015). Sobre cada una de ellas se han desarrollado equivalencias que permiten su comparación con cartografía con clases de usos del suelo definidas por las directrices del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) para el sector LULUCF.

El resultado es un conjunto de datos geoespaciales, en formato ráster, con resolución de 25 metros, que cubre todo el país para las siete fechas de referencia. Adicionalmente, se ha obtenido la cobertura de cambio por provincia a partir del análisis ráster realizado entre fechas de referencia.

La cartografía obtenida es única en España y permite incorporar nuevos mapas en el futuro.

Abstract

The main objective of the project is the creation of a cartographic series for the LULUCF sector (land use, land use change and forestry) adapted to the INSPIRE Directive, from 1970 to 2015, that allows the estimation of emissions and removals of greenhouse gases resulting from the activities of this sector from 1990 to the present. For this, we have started from the analysis of historical cartography of land occupation (coverage and/or use) of Spain, selecting a total of 14 that have been located in 7 reference dates (1970, 1990, 2000, 2006, 2009, 2012 and 2015). For each of them, equivalences have been developed that allow their comparison with the classes of land use defined by the IPCC guidelines for the LULUCF sector. The result is a set of geospatial data, in raster format, with a resolution of 25 meters, which covers the entire country for the seven reference dates. Additionally, the coverage of change by province has been obtained from the raster analysis carried out between reference dates.

The cartography obtained is unique in Spain and allows the incorporation of new maps in the future.

Palabras clave: cambio climático, usos del suelo, cartografía histórica, gases de efecto invernadero, emisiones, sumideros de carbono.

Keywords: climate change, land use, historical cartography, greenhouse gases, emissions, carbon sinks.

Tecnologías y Servicios Agrarios S.A., S.M.E., M.P. (TRAGSATEC)
mlc@tragsa.es, mfra@tragsa.es, bfg@tragsa.es, masm@tragsa.es,
mmeg@tragsa.es, jccr@tragsa.es
Ministerio para la Transición Ecológica
y el Reto Demográfico (MITERD)
BRFranco@miteco.es, armartinez@miteco.es

Recepción 10/04/2020
Aprobación 25/04/2020

1. INTRODUCCIÓN

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), su Protocolo de Kyoto y el próximo Acuerdo de París establecen obligaciones de reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, así como de información sobre las emisiones antropogénicas por las fuentes y las absorciones por los sumideros de esos gases, que instan a los países a trabajar en el logro de la neutralidad climática, en la que los sumideros de carbono tienen un importante papel.

España, como parte de dicha Convención, así como de sus instrumentos de desarrollo, está sujeta al cumplimiento de una serie de compromisos. El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) es el encargado de velar por su cumplimiento respecto a las emisiones a la atmósfera. Para ello, a través del Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera (SEI) elabora anualmente el Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases

de Efecto Invernadero y de Contaminantes Atmosféricos (NIR e IIR) así como las Proyecciones de Emisiones y Absorciones a la Atmósfera.

Las emisiones y absorciones de los gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O) asociados a los usos del suelo, los cambios de esos usos y la silvicultura (LULUCF, por sus siglas en inglés) se encuentran representados en el NIR.

El sector LULUCF se encuentra clasificado en las siguientes categorías de usos del suelo: tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos o artificial y otras tierras. El Inventario Nacional define cada una de esas categorías, de forma coherente con las directrices del IPPC, conforme al siguiente cuadro:

Una de las particularidades que presenta la estimación de las emisiones y absorciones asociadas al sector LULUCF consiste en la necesidad de identificar los usos del suelo y sus cambios desde 1970. Remontarse a tales fechas ha supuesto un reto para el SEI, que hasta ahora utilizaba información cartográfica que sólo cubría el periodo 1990-2012, por lo que se

ha tenido que completar la serie de información desde 1970 con la procedente de la estadística de los *Anuarios de Estadística Agraria*, del entonces Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Con la entrada en vigor del Acuerdo París, el sector LULUCF se convierte en un sector aún más estratégico, que necesitará una mejora en sus estimaciones. La UE como parte signataria de dicho acuerdo, ha establecido a través del Reglamento (UE) 2018/841 que los Estados Miembros garanticen que las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes del uso del suelo, sus cambios y la silvicultura para el periodo 2021 y 2030 queden compensadas, como mínimo, por absorciones equivalentes de CO₂ de la atmósfera.

Finalmente, en este escenario, la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España se plantea la elaboración de una serie cartográfica histórica, adaptada a

Categoría	Definición
Tierras forestales (FL)	Tierra con vegetación leñosa y coherente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el Inventario Nacional. También comprende sistemas con vegetación actualmente inferior al umbral de la categoría FL, pero que se espera que lo rebasen. La definición operativa de bosque para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y para el Protocolo de Kioto, queda determinada por las siguientes especificaciones: <i>Bosque, comprende las tierras pobladas con especies forestales arbóreas como manifestación vegetal dominante y que se ajusten a los siguientes parámetros:</i> - Fracción de cabida cubierta arbórea (FCC) ≥20 %. - Superficie mínima 1 hectárea. - Altura mínima de los árboles maduros 3 metros. <i>También deben ser considerados bosques, los sistemas de vegetación actualmente inferiores a dichos umbrales pero que se espera que lo rebasen.</i> <i>Adicionalmente se ha considerado para el cómputo de las superficies de bosque un umbral de anchura mínima de 25 metros para los elementos lineales⁽¹⁾.</i>
Tierras de cultivo (CL)	Tierra cultivada, incluidos los arrozales y los sistemas de agro-silvicultura donde la estructura de la vegetación se encuentra por debajo de los umbrales utilizados para la categoría FL. Esta categoría se divide en: cultivos herbáceos y cultivos leñosos.
Pastizales (GL)	Tierras de pastoreo y pastizales dominados por vegetación herbácea o arbustiva, así como con vegetación leñosa con FCC arbórea mayor o igual a 10 %, que no se consideran CL y que están por debajo de los valores umbrales utilizados en la categoría FL. A efectos del Inventario Nacional, se distingue entre: pastizales de vegetación herbácea, (GL _h) y pastizales de vegetación arbustiva y arbórea (GL _o).
Humedales (WL)	Superficies cubiertas o saturadas por agua durante la totalidad o parte del año y que no está dentro de las categorías FL, CL o GL.
Asentamientos o artificial (SL)	Toda la tierra desarrollada, incluidas las infraestructuras de transporte y los asentamientos humanos de cualquier tamaño, a menos que estén incluidos en otras categorías.
Otras tierras (OL)	Suelo desnudo, roca, hielo y todas aquellas zonas que no estén incluidas en ninguna de las otras cinco categorías anteriores.

⁽¹⁾ Esta restricción del umbral de anchura mínima no se aplica en el Inventario Forestal Nacional a las riberas arboladas con especies autóctonas o asilvestradas de estructura irregular, origen natural y gran biodiversidad, dado su gran valor ecológico.

Figura 1. Definición de categorías LULUCF

Base cartográfica	Escala	Unidad cartográfica mínima
CLC/LCC	1:100.000	25 ha o 100 m/5 ha
MCA1980-1990	1:50.000	2 ha
MCA2000-2010	1:50.000	2 ha
MFE50	1:50.000	6,25 ha (uso no arbolado) y 2,5 ha (uso arbolado)
FF	1:50.000/1:25.000	6,25 ha (uso no arbolado) y 2,5 ha (uso arbolado) / 2 ha (uso agrícola), 0,5 ha (humedales) y 1 ha (resto de usos)

Figura 2. Fuentes de información de las superficies de las categorías de uso del suelo del sector LULUCF

INSPIRE, de ocupación del suelo y sus cambios, que cubra el periodo comprendido entre 1970 y 2015, y que permita mejorar la estimación de emisiones y absorciones realizada hasta el momento.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es la creación de la Serie Cartográfica LULUCF, conforme a la Directiva INSPIRE, de acuerdo al tema 2 del anexo II, cubierta terrestre, a partir de la información cartográfica del Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera (SEI) para:

- Disponer de la información histórica necesaria (desde 1970) para la estimación de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero resultantes de actividades relativas al sector LULUCF a lo largo de la serie histórica desde 1990.
- Implantar como fuente del sector LULUCF para el SEI un método de representación 3 (consistente en datos de conversión del uso del suelo explícitos en el espacio) que mejora el actual, que se corresponde con el método de representación 2 (superficie total de suelo, incluyendo los cambios entre categorías).
- Desarrollar el sistema de representación cartográfica de la información del sector LULUCF para el SEI mejorando el actual enfoque o método de representación empleado.

3. FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la generación de la Serie Cartográfica LULUCF, se ha partido de numerosas y diversas fuentes de información, las cuales se resumen a continuación:

- 14 cartografías históricas de ocupación del suelo (cobertura y/o uso) de España:
 - Mapas de Cultivos y Aprovechamientos (MCA). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1980-1990, 2000-2010
 - Corine Land Cover (CLC). Instituto Geográfico Nacional. 1990, 2000 y 2006 y 2012
 - Mapas Forestales de España escala 1:50.000 (MFE50), 1996-2007 y Fotos Fijas del Mapa Forestal de España (FF), 2009, 2012, 2015, ambos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
 - Cartografía del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2009, 2012 y 2015
 - Catastro urbano de España. Dirección General de Catastro, Ministerio de Hacienda y Diputación Foral de Álava. 1970-2015
 - Cartografía de masas de agua de la Dirección General

del Agua (MITERD) e Información Geográfica de Referencia de Hidrografía «IGR Hidrografía» del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

- Infraestructura viaria de la Base Topográfica Nacional (BTN) del IGN
 - Infraestructura ferroviaria de la Base Topográfica Nacional (BTN) del IGN
 - Aeropuertos de la Base Topográfica Nacional (BTN) del IGN
 - Roquedos obtenidos a partir del análisis realizado por teledetección a partir de imágenes SENTINEL y LANDSAT
- Información de turberas del Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

4. METODOLOGÍA

La elaboración de la Serie Cartográfica LULUCF (1970-2015) se ha realizado en cinco fases:

- Recopilación de información de ocupación (cobertura y/o usos) del suelo de España disponible desde 1970 hasta 2015.
- Estandarización y homogenización de la información relativa a la ocupación del suelo de todas las fuentes de información geográfica utilizadas.
- Integración y homogenización de todas las fuentes de información cartográfica recopiladas para su análisis integrado y su adaptación a los sistemas de información geográfica actuales.
- Generación de coberturas temporales de ocupación y cambio de ocupación del suelo
- Adaptación a INSPIRE de acuerdo al tema 2 del anexo II. *Cubierta Terrestre*.

La primera fase para la generación de la Serie Cartográfica LULUCF ha sido la recopilación de todas las cartografías digitales de ocupación del suelo (cobertura y/o usos) disponibles a nivel nacional desde 1970 hasta la actualidad.

Tras su análisis y, tomando como requisitos imprescindibles que fuesen cartografías de ocupación/ usos del suelo a nivel estatal, estuviesen disponibles en formato digital y que su modelo de datos fuese jerárquico con un uso/cobertura único por recinto. se ha determinado que las cartografías disponibles que cumplían los objetivos del trabajo eran 14 mapas históricos para las fechas de referencia 1970, 1990, 2000, 2006, 2009, 2012 y 2015.

- Mapas de Cultivos y Aprovechamientos (MCA)
 - Mapa de cultivos y aprovechamientos 1970-1990 (MCA1)
 - Mapa de cultivos y aprovechamientos 2000-2010 (MCA2)
- Mapas Forestales de España (MFE):
 - Mapa Forestal de España 1:200.000 (MFE200)

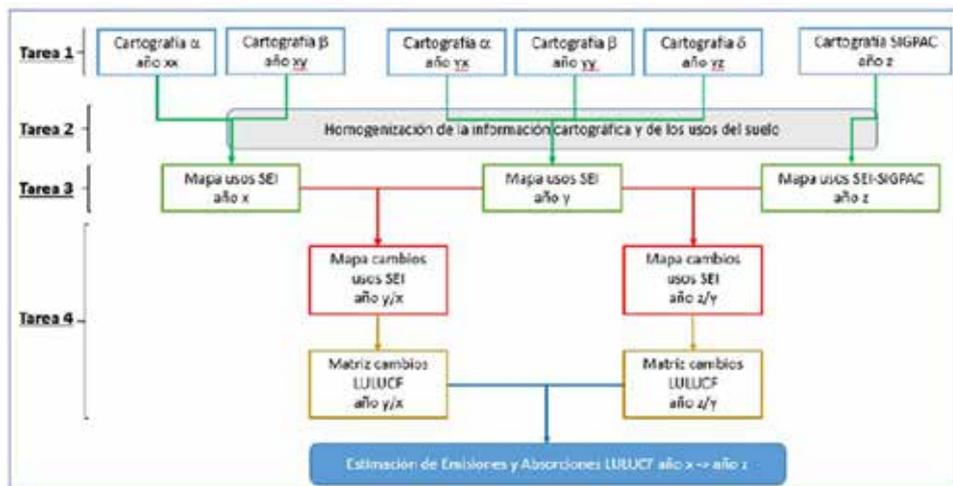


Figura 3. Esquema de las tareas realizadas

- Mapa Forestal de España 1:50.000 (MFE50)
- Fotos fijas del Mapa Forestal de España (FF) de 2009, 2012 y 2015
- Cartografías CORINE LAND COVER (CLC) de 1990, de 2000, de 2006 y de 2012
- Mapas consolidados del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) de 2009, 2012 y 2015

En la siguiente figura se presenta un esquema de las fuentes de información y de las diferentes fechas de referencia:

En la siguiente fase, y una vez recopilada y armonizada toda la cartografía anteriormente enumerada, se procedió a su análisis y a la generación de traducciones o equivalencias necesarias para hacerlas comparables con las clases LULUCF, es decir, con aquellos usos y/o coberturas del suelo que responden a las necesidades del SEI para la estimación de las emisiones y absorciones del sector LULUCF.

Las cartografías históricas utilizadas son las primeras y únicas disponibles a nivel estatal, ejecutadas en el siglo pasado con las herramientas y los conocimientos existentes en ese

momento. Eso, tal y como hemos comprobado en los análisis realizados, ha determinado la definición de los modelos de datos, las escalas de trabajo y en definitiva los resultados de cada mapa, lo que es un aspecto muy importante tener en cuenta a la hora de comparar los datos obtenidos de dichas cartografías con cualquier conjunto de datos espaciales generado en la actualidad.

En los estudios realizados para la realización de las equivalencias con las clases LULUCF, se observaron problemas en la representa-

ción de determinadas clases, principalmente en las cartografías de fuentes más antiguas. Se detectaron desplazamientos, errores importantes debido a las escalas temporal y espacial, y otros que hicieron necesaria la realización de estudios pormenorizados de las distintas clases para la identificación de problemas y búsqueda de las mejores soluciones en cada caso para su corrección.

A modo de ejemplo, en la siguiente figura se pueden observar los problemas detectados en la representación de los ríos en el MCA1, con un desplazamiento importante en algunas zonas (no de forma sistemática) con respecto a la situación real del río, representada en la ortofoto de la fecha de referencia correspondiente.

Se buscó e incorporó información complementaria con el fin de mejorar aquellas clases en las que la información histórica no era del todo precisa y para las que existía información adicional de detalle. De esa manera se incluyó información de:

- **Catastro urbano:** A partir de los datos proporcionados por la Dirección General de Catastro y la Diputación Foral de Álava de fecha de construcción y uso, se generó una serie cartográfica histórica del uso urbano, representando

todas las edificaciones construidas antes de 1970 y en las sucesivas fechas de referencia hasta 2015 (Figura 3).

- **Masas de agua:** Tras analizar varias fuentes de información y con ayuda de la fotointerpretación de ortofotos históricas, se generó, a partir la información proporcionada por la Dirección General del Agua y el Instituto Geográfico Nacional, una cobertura de masas de agua en la que se recogen las aguas estancadas, los cursos de agua, los humedales

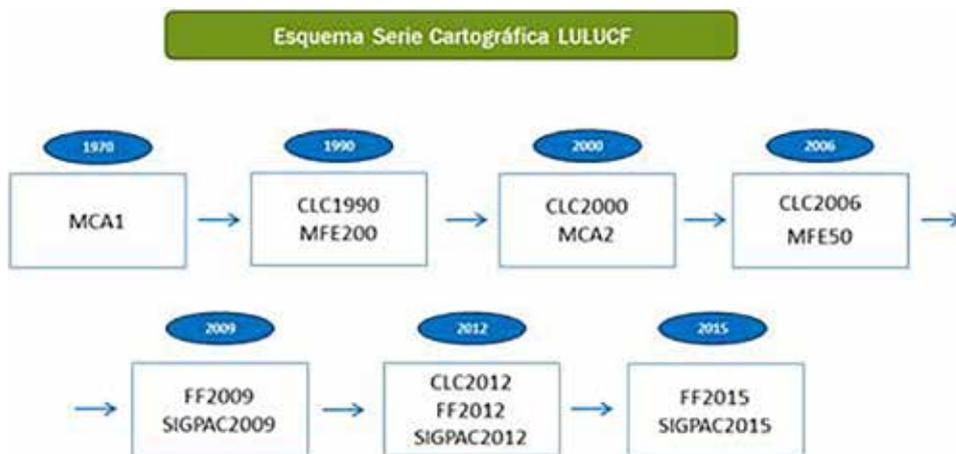


Figura 4. Esquema de fuentes cartográficas de ocupación del suelo utilizadas

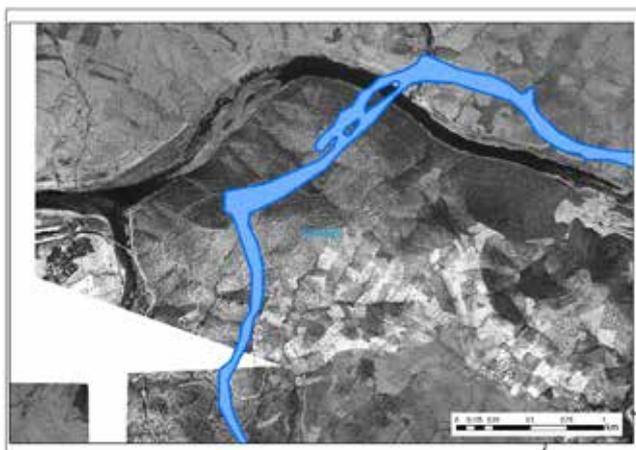


Figura 5. Detalle de desplazamiento entre MCA y ortofoto

y las láminas artificiales. Adicionalmente, y con el fin de enriquecer esta información, se identificó por fotointerpretación la fecha de construcción de los embalses y presas, para su incorporación en las fechas de referencia correspondientes.

- **Red viaria:** A partir de la red viaria proporcionada por el IGN, y tras la incorporación de las fechas de construcción mediante un proceso de fotointerpretación de ortofotos históricas, se creó una capa para su incorporación en la Serie Cartográfica LULUCF.
- **Red ferroviaria:** A partir de la información de tramificación facilitada por el IGN, fechada con datos proporcionados por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), se generó una capa con la mejor información existente para su inclusión en la Serie LULUCF.

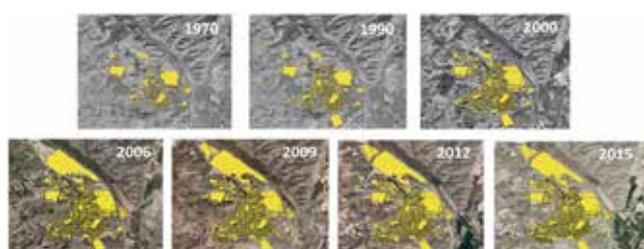


Figura 6. Serie histórica generada para el uso urbano en la localidad de Ciempozuelos (Madrid)



Figura 7. Ejemplo de uso para la cobertura de urbano

- **Aeropuertos:** A partir de la información de localización y geometría de la Base Topográfica Nacional del IGN, fechada a través de fotointerpretación de imágenes históricas.
- **Roquedos en sistemas montañosos:** Se determinó el territorio que no presentaba vegetación en distintas fechas de la serie histórica, a partir de la información del Índice de Vegetación (NDVI) máximo anual obtenido tras el tratamiento de imágenes satélite SENTINEL (10 m de píxel) y LANDSAT (30 m de píxel).

Tras la determinación de la cobertura de roquedos para toda España a través de teledetección, se llevó a cabo su validación por fotointerpretación de ortofotos históricas disponibles en el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

- **Turberas:** Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cerca del 10 % de las emisiones mundiales de gases efecto invernadero provenientes de la agricultura, la silvicultura y el uso del suelo están relacionadas con el drenaje de las turberas, de ahí que sea imprescindible localizarlas con el fin de proporcionar los datos adecuados de emisiones.

Teniendo dicho fin como objetivo, se localizaron en España las turberas a partir de la información proporcionada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), a través de un proceso de fotointerpretación de la serie histórica de ortofotos.

Una vez consolidada toda la información histórica e incorporadas las mejoras, se realizó la estandarización y homogeneización de la información relativa a la ocupación del suelo de todas las fuentes de información geográfica utilizadas, es decir, se procedió a correlacionar los usos y/o coberturas del suelo de cada cartografía fuente estudiada con los usos y/o coberturas asignados para los objetivos del SEI, con lo que se obtuvieron pasarelas que clasifican de manera directa las cartografías fuente con las clases LULUCF.



Figura 8. Detalle de la cartografía de aeropuertos. Aeropuerto de Barajas (Madrid)



Figura 9. Detalle de la cartografía de NDVI máximo anual en Picos de Europa

De esta manera, las clases LULUCF establecidas han sido las siguientes:

Una vez realizadas las equivalencias necesarias para que las 14 cartografías fuente quedaran clasificadas en clases LULUCF, se generó un conjunto de datos espaciales de ocupación del suelo para cada una de las fechas de referencia

(1970, 1990, 2000, 2006, 2009, 2012, 2015), integrando la mejor información disponible de cada fuente y utilizando como base geográfica de referencia el ráster de 25 x 25 m estándar en todos los conjuntos de datos espaciales realizados en el marco de Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

En la siguiente tabla se especifican las clases LULUCF y el origen de la información para cada año de la serie:

Los datos geospaciales generados se analizaron con herramientas basadas en sistemas de información geográfica en formato ráster y se generaron matrices de ocupación y de cambio de ocupación del suelo con información a nivel provincial. Esos datos responden a las necesidades de información geográficamente explícita para la estimación de las emisiones y absorciones del sector LULUCF que se realiza en el marco del Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero.

CAMPOS ORIGEN MFE25								LULUCF
TIPO ESTRUCTURAL	FCCA Min.	FCCA Max.	CLAIFN	DESCRIPCIÓN CLAIFN	CLAMFE	DESCRIPCIÓN CLAMFE	COND 2: TIPO BOSQUE	
13	20	100	113	Monte arbolado. Dehesa	113	Arbolado	Coníferas	121
14	20	100	115	Monte arbolado. Ribera arbolada	110	Arbolado	Coníferas	121
15	20	100	116	Monte arbolado. Bosquete pequeños	110	Arbolado	Coníferas	121
16	20	100	117	Monte arbolado. Alineaciones estrechas	110	Arbolado	Coníferas	121
18	20	100	111	Monte arbolado. Bosque	110	Arbolado	Coníferas	121
19	20	100	112	Monte arbolado. Bosque de plantaciones	112	Arbolado	Coníferas	121
171	20	100	111	Monte arbolado. Bosque	110	Arbolado	Coníferas	121
172	20	100	111	Monte arbolado. Bosque	110	Arbolado	Coníferas	121
11	20	100	111	Monte arbolado. Bosque	110	Arbolado	Mixto	131
12	20	100	112	Monte arbolado. Bosque de plantaciones	112	Arbolado	Mixto	131

Figura 10. Extracto de pasarela MFE25- LULUCF

USO SIGPAC	DESCRIPCIÓN	CLASE LULUCF
TA	Tierras Arables	729
TH	Huerta	729
IV	Invernaderos y cultivos bajo plástico	722
OV	Olivar	711
CI	Cítricos	713
FS	Frutos secos	719
FY	Frutales	714
VI	Viñedo	712
CV	Asociación Cítricos-Viñedo	719
FV	Frutos secos y viñedo	719
VF	Viñedo-frutal	719
VO	Viñedo-Olivar	715
CS	Asociación Cítricos-Frutales de cáscara	719
FF	Asociación Frutales-Frutales de cáscara	719
FL	Frutos secos y Olivar	715
CF	Asociación Cítricos-Frutales	719
OC	Asociación Olivar-Cítricos	715
OF	Olivar-Frutal	715
PS	Pastizal	230
PR	Pasto Arbustivo	220
PA	Pasto con arbolado	100
FO	Forestal	100
CA	Viales	840
ED	Edificaciones	820
ZU	Zona Urbana	810
IM	Improductivos	400
AG	Corrientes y superficies de agua	500
ZV	Zona Censurada	400
ZC	Zona Concentrada no incluida en la Ortofoto	400

Figura 11. Extracto de pasarela SIGPAC- LULUCF

Analizada la serie cartográfica generada y las matrices de superficies de ocupación del suelo, se llevó a cabo una validación de los cambios obtenidos con el fin de solventar las incoherencias producidas por la diversidad de escalas, objetivos y formatos de las cartografías de origen, a través de un proceso de fotointerpretación de la serie histórica de ortofotos.

Para la obtención de los cambios producidos, se cruzaron los ráster de los 6 periodos de estudio (1970-1990; 1990-2000; 2000-2006; 2006-2009; 2009-2012; 2012-2015), analizando píxel a píxel las transiciones entre clases LULUCF para las fechas de referencia.

En total se han obtenido 20.135 tipos de cambios en las clases LULUCF. A continuación, se presentan, a modo de ejemplo, algunas de las casuísticas obtenidas.

Como resultado de esta fase, se han fotointerpetado en toda la serie histórica, en siete fechas de referencia, más de 3 millones de hectáreas; un total de más de 100.000 recintos de superficie mayor de 1 hectárea.

5. RESULTADOS

El resultado final, consecuencia del desarrollo de todo el proceso metodológico anteriormente descrito, es un conjunto de datos espaciales conforme a INSPIRE, en formato ráster, con una resolución de 25 metros, con la Serie Cartográfica LULUCF para siete fechas de referencia: 1970, 1990, 2000, 2006, 2009, 2012 y 2015.

ID_Categoría	Categorías	Subcategoría/Descripción	VALUE (IdClaseLULUCF)	
1	FL Tierras forestales (Forest Land)	Tierra con vegetación leñosa y coherente con los siguientes umbrales: <ul style="list-style-type: none"> • Fracción de cabida cubierta arbórea (FCC): ≥ 20%. • Superficie mínima: 1 hectárea. • Altura mínima de los árboles maduros: 3 metros. • Anchura mínima para los elementos lineales: 25 metros. (Nota: Esta restricción del umbral de anchura mínima no se aplica en el Inventario Forestal Nacional a las riberas arboladas con especies autóctonas o asilvestradas de estructura irregular, origen natural y gran biodiversidad, dado su gran valor ecológico.) También comprende sistemas con vegetación actualmente inferior al umbral de la categoría de Tierras forestales, pero que se espera que lo rebasen.	100	
		FL _a Frondosas (Broadleaved)	Tierra con vegetación leñosa comprendida principalmente por especies de <u>frondosas</u> y coherente con los umbrales utilizados para definir la categoría Tierras forestales.	110
			Igual o superior al umbral	111
			Inferior al umbral	112
		FL _c Coníferas (Coniferous)	Tierra con vegetación leñosa comprendida principalmente por especies de <u>coníferas</u> y coherente con los umbrales utilizados para definir la categoría Tierras forestales.	120
			Igual o superior al umbral	121
			Inferior al umbral	122
		FL _m Mixto (Mixed)	Tierra con vegetación leñosa donde no predominan ni las especies de <u>frondosas</u> ni las de <u>coníferas</u> y coherente con los umbrales utilizados para definir la categoría Tierras forestales.	130
			Igual o superior al umbral	131
			Inferior al umbral	132
		FL _u Especie desconocida (Unknown)	Tierra con vegetación leñosa donde no se puede identificar la especie con los umbrales utilizados para definir la categoría Tierras forestales.	140
			Igual o superior al umbral	141
			Inferior al umbral	142
7	CL de Tierras de cultivo (Cropland)	Tierra cultivada, incluidos los arrozales y los sistemas de agro-silvicultura donde la estructura de la vegetación se encuentra por debajo de los umbrales de la categoría Tierras forestales.	700	
		CL _p Cultivos leñosos perennes (Perennial Woody Crops)	Tierra cultivada con <u>cultivos leñosos perennes</u> , incluidos los sistemas de agro-silvicultura con cultivos leñosos perennes donde la estructura de la vegetación se encuentra por debajo de los umbrales de la categoría Tierras forestales.	710
			Si es posible, diferenciar los siguientes cultivos: Olivar, Viñedo y Otros cultivos leñosos (Cítrico, no cítrico y otros).	
			Olivar	711
			Viñedo	712
			Cítricos	713
			No cítricos	714
			Olivar con otros cultivos leñosos	715
		Otros cultivos leñosos	719	
		CL _a Cultivos anuales (Annual Crops)	Tierra cultivada con <u>cultivos anuales y multianuales</u> (en oposición a los cultivos leñosos perennes), incluidos los arrozales y los sistemas de agro-silvicultura donde la estructura de la vegetación se encuentra por debajo de los umbrales de la categoría Tierras forestales.	720
			Arrozales	721
			Invernaderos	722
			Otros cultivos anuales	729
CL _r Tierras de barbecho temporales (Temporary fallow land)	Tierra que se deja descansar durante uno o varios años antes de volver a cultivarla. Si no es posible diferenciarlos, incluir los <u>barbechos</u> como parte de la subcategoría Cultivos anuales.	730		
2	GL Pastizales (Grassland)	Tierras de pastoreo y pastizales dominados por vegetación herbácea o arbustiva, así como con vegetación leñosa con FCC arbórea mayor o igual a 10%, que no se consideran dentro de la categoría Tierras de cultivo y que están por debajo de los valores umbrales de la categoría Tierras forestales.	200	
		GL _w Vegetación arbórea (Woodland)	Tierras de pastoreo y los pastizales con <u>vegetación leñosa</u> con FCC arbórea ≥ 10%, que no se consideran dentro de las categorías Tierras forestales ni Tierras de cultivo.	210
			GL _s Vegetación arbustiva (Shrubland)	Tierras de pastoreo y los pastizales dominados por <u>vegetación arbustiva</u> , que no se consideran dentro de las categorías Tierras forestales ni Tierras de cultivo.
		GL _p Vegetación herbácea (Perennial Grasses)	Tierras de pastoreo y los pastizales dominados por <u>vegetación herbácea</u> , que no se consideran dentro de las categorías Tierras forestales ni Tierras de cultivo.	230
		GL _b Pastizales quemados (Burned grassland)	Tierras de pastoreo y pastizales quemados	240

Figura 12. Definición de clases LULUCF

ID_Categoría	Categorías	Subcategoría/Descripción	VALUE (IdClaseLULUCF)	
5	WL Humedales (Wetlands)	Superficies cubiertas o saturadas por agua durante la totalidad o parte del año y que no entra en las categorías Tierras forestales, Tierras de cultivo o Pastizales.	500	
		WL _p Turberas (Peatlands)	Turberas	510
			Turberas en explotación	511
			Turberas sin explotación	512
		WL _f Tierras inundadas (Flooded Lands)	Embalses para la producción de energía, riego, navegación y recreo. Lagos y ríos regulados en los que se haya producido un incremento sustancial en la superficie acuática.	520
			Interiores	521
			Costeros	522
			Mixtos	523
		WL _o Otros humedales (Other wetlands)	Lagos y ríos regulados en los que no se haya producido un incremento sustancial en la superficie acuática.	530
			Interiores	531
			Costeros	532
			Mixtos	533
		8	SL Asentamientos o artificial (Settlements)	Toda la tierra desarrollada, incluidas las infraestructuras de transporte y los asentamientos humanos de cualquier tamaño, a menos que estén incluidos en otras categorías.
SL _u Asentamientos urbanos (Urban units)	Zona residencial (urbana y rural)			810
	SL _i Zonas industriales o comerciales (Industrial or commercial units)			Zonas insutriales o comerciales
Industrial				821
Comercial				822
SL _p Puertos y aeropuertos (Port areas and airports)	Puertos y aeropuertos			830
	Zonas portuarias			831
	Aeropuertos			832
	Otras			839
SL _t Redes de transporte por tren y carretera (Road and rail transport networks)	Infraestructuras de transporte.			840
	Carreteras			841
	Ferrocarril no electrificado			842
	Otras			849
SL _m Minas (Mineral extraction sites)	Explotaciones mineras.			850
SL _d Escombreras y vertederos (Dump sites)	Escombreras y vertederos			860
SL _s Zonas en construcción (Construction sites)	Zonas en construcción			870
SL _v Vegetación (Vegetated areas)	Tierras con cobertura vegetal, que no se consideran dentro de las categorías Tierras forestales, Tierras de cultivo ni Pastizales.			880
	Arbolada	881		
	Arbustiva	882		
	Herbácea	883		
4	OL Otras tierras (Otherland)	Suelo desnudo, roca, hielo y todas aquellas zonas que no estén incluidas en ningunas de las otras cinco categorías anteriores: Tierras forestales, Tierras de cultivo, Pastizales, Humedales y Asentamientos o artificial.	400	

Figura 12. Definición de clases LULUCF

Clase LULUCF	1970	1990	2000	2006	2009	2012	2015
	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente
FL	MCA1	CLC90	MCA2	MFE50	FF09	FF12	FF15
CL	MCA1	CLC90	MCA2	CLC06	SIGPAC09	SIGPAC12	SIGPAC15
GL	MCA1	CLC90	MCA2	MFE50	FF09	FF12	FF15
WL	MCA2+IGN+DGA+IGME	CLC90+IGN+DGA+IGME	MCA2+IGN+DGA+IGME	CLC06+IGN+DGA+IGME	SIGPAC09+IGN+DGA+IGME	SIGPAC12+IGN+DGA+IGME	SIGPAC15+IGN+DGA+IGME
SL	CLC90+catastro+IGN	CLC90+catastro+IGN	CLC00+catastro+IGN	CLC06+catastro+IGN	SIGPAC09+catastro+IGN	SIGPAC12+catastro+IGN	SIGPAC15+catastro+IGN
OL	CLC90+capa roquedos	CLC90+capa roquedos	CLC00+capa roquedos	MFE50+capa roquedos	FF09+capa roquedos	FF12+capa roquedos	FF15+capa roquedos

Figura 13. Origen para cada clase LULUCF y fecha de referencia

Adicionalmente, se ha obtenido la cobertura de cambios por provincia a partir del análisis ráster realizado entre dos fechas consecutivas (1970 – 1990; 1990 – 2000; 2000-2006; 2006-2009; 2009-2012; 2012-2015). A cada píxel se le ha asignado un valor en función del estado: los que no han tenido cambios en el periodo se han clasificado con el valor «0» y los que han sufrido cambios con el valor «1» y se ha incluido la clase LULUCF de origen y la clase LULUCF final.

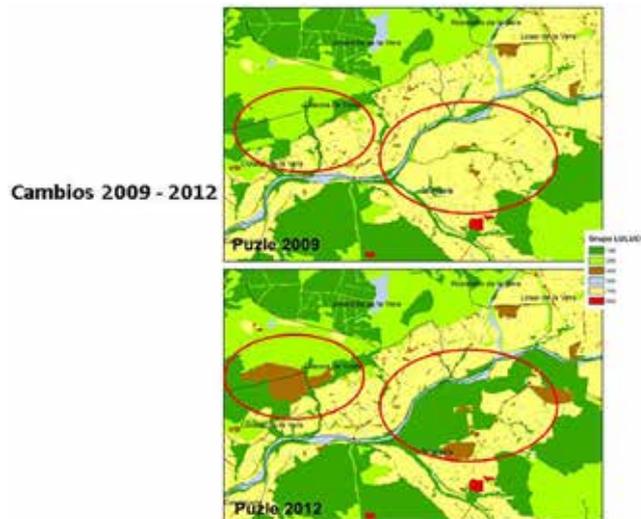


Figura 14. Ejemplo de cambios de ocupación del suelo entre fechas de referencia

Id	Usos_1970	Usos_1990	Usos_2000	Usos_2006	Usos_2009	Usos_2012	Usos_2015	CodTotal	SupHa
1356	700	700	800	800	400	700	700	700-700-800-800-400-700-700	232,19
1357	700	200	100	100	100	400	400	700-200-100-100-100-400-400	232,00
1358	400	700	800	100	100	100	100	400-700-800-100-100-100-100	231,50
1359	200	200	800	800	400	800	800	200-200-800-800-400-800-800	231,38
1360	700	400	700	200	200	200	200	700-400-700-200-200-200-200	231,38
1361	700	700	800	800	500	500	500	700-700-800-800-500-500-500	231,31
1362	700	200	700	700	700	400	700	700-200-700-700-700-400-700	230,94
1363	400	700	500	700	200	200	200	400-700-500-700-200-200-200	230,88
1364	200	400	400	400	700	700	400	200-400-400-400-700-700-400	230,38
1365	800	800	800	800	700	700	200	800-800-800-800-700-700-200	230,31
1366	700	700	800	800	200	200	700	700-700-800-800-200-200-700	230,19
1367	200	700	200	700	100	100	200	200-700-200-700-100-100-200	230,13
1368	200	700	700	700	800	200	200	200-700-700-700-800-200-200	230,00
1369	200	700	200	500	500	500	500	200-700-200-500-500-500-500	229,63
1370	200	800	800	100	200	200	200	200-800-800-100-200-200-200	229,44
1371	100	700	700	700	800	400	400	100-700-700-700-800-400-400	229,38
1372	100	200	800	800	200	200	200	100-200-800-800-200-200-200	229,13
1373	700	700	200	200	700	200	200	700-700-200-200-700-200-200	229,06
1374	200	100	200	200	700	700	200	200-100-200-200-700-700-200	228,88
1375	100	700	100	100	200	200	100	100-700-100-100-200-200-100	228,75
1376	700	700	100	100	100	100	800	700-700-100-100-100-800-800	228,00
1377	700	700	700	700	500	100	100	700-700-700-700-500-100-100	228,00

Figura 15. Extracto de la base de datos de la Serie Cartográfica LULUCF

6. RETOS

La construcción de la serie LULUCF 1970 – 2015, integrando cartografías históricas no homogeneizadas, con modelos de datos, escalas y fines diversos, ha supuesto un desafío en el manejo de grandes volúmenes de datos geográficos; en total se han manejado más de 800 millones de píxeles por cada año de la serie y correspondiente cobertura de cambios (7 mapas de la serie cartográfica y 6 coberturas de cambios, en total 10.400 millones de píxeles).

La homogeneización de las cartografías, buscando las equivalencias en la definición de clases y usos de cada mapa, realizando procesos SIG y de clasificación adicionales en aquellas en las que no existía una correspondencia directa, ha supuesto un importante ejercicio de estandarización de cartografías, no realizado hasta la fecha.

Adicionalmente, la incorporación de la información catastral desde el año 1970 hasta el 2015, con información de las construcciones realizadas en España en el periodo 1970–2015 y el uso asignado, así como su incorporación a la serie LULUCF como mejor información para la clase «*asentamientos – SL*», ha significado un importante desafío en el manejo de información histórica catastral.

En el proceso de generación de la Serie Cartográfica LULUCF, se ha detectado la necesidad de mejora continua, por lo que está prevista su ampliación al siguiente año de referencia (2018), tras la publicación de nuevas fuentes de información con dicha fecha, y profundizando en la actualización de la cartografía a partir de

productos de observación de la Tierra derivados del proyecto COPERNICUS, aprovechando los avances ocurridos en dicho programa en el lapso de tiempo transcurrido desde que se inició el proceso de generación de la serie.

Para ello, está previsto diseñar una metodología para la actualización de la Serie Cartográfica LULUCF en el futuro (de 2018 en adelante) a partir de datos

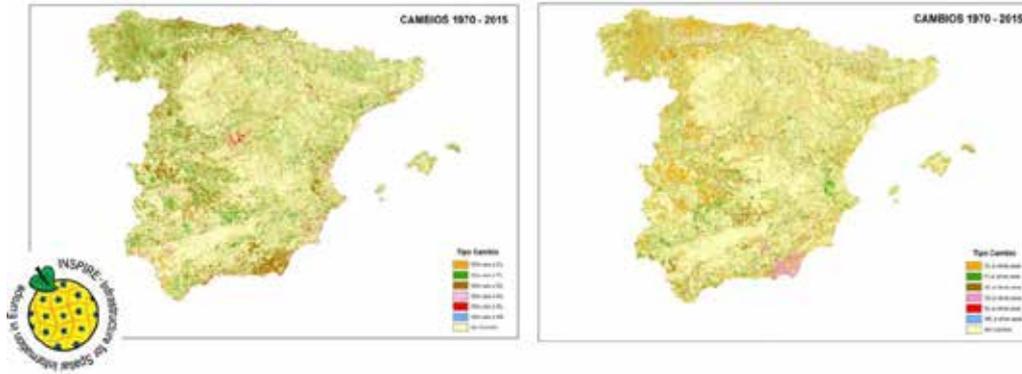


Figura 16. Mapas de cambios entre 1970 y 2015

de observación de la Tierra y otras fuentes de información disponibles. Se trata de automatizar en la medida de lo posible los procesos de actualización de los conjuntos de datos espaciales (CDE) de ocupación del suelo y cambios de ocupación del suelo mediante técnicas de teledetección. Para ello se explorarán y ensayarán diferentes métodos de obtención de coberturas de cambios a partir de imágenes SENTINEL y productos derivados del programa COPERNICUS.

7. CONCLUSIONES

Como conclusiones del trabajo desarrollado, descrito en los epígrafes anteriores de este artículo, se recogen los siguientes puntos:

- La serie cartográfica LULUCF proporciona información detallada sobre ocupación del suelo y sus cambios desde el año 1970 hasta el 2015, con una resolución de 25 m en todo el territorio nacional.
- Se trata de una cartografía única a nivel estatal, que refleja los cambios ocurridos en el territorio en los últimos 45 años, con una metodología que permite incorporar nuevos mapas de la serie en un futuro, que permite al SEI cumplir sus compromisos de información sobre la estimación de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero.
- La cartografía obtenida proporciona información geográficamente explícita sobre coberturas y/o usos del suelo y sus cambios en España.
- La Serie Cartográfica LULUCF mejora considerablemente la estimación de emisiones y absorciones de gases efecto invernadero y sienta las bases para la determinación de proyecciones futuras.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración e información aportada de los siguientes organismos y proyectos:

- Subdirección General de Política Forestal y Lucha contra la Desertificación. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Banco de Datos de la Naturaleza. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Subdirección de Ayudas Directas (FEGA). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Subdirección General de Cultivos Herbáceos e Industriales y Aceite de Oliva. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Instituto Geográfico Nacional.
- Dirección General del Catastro. Ministerio de Hacienda.
- Diputación Foral de Álava.

Sobre los autores

Equipo TRAGSATEC

El personal que ha participado en este proyecto forma parte de un equipo técnico multidisciplinar de la empresa TRAGSATEC formado por expertos en SIG y cartografía y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), expertos en cartografías de vegetación y usos del suelo y expertos del sector SEI que dan apoyo al MITERD para la elaboración de NIR e IIR.

Blanca Ruiz Franco

Jefa de Área del Banco de Datos de la Naturaleza en el MITERD. Coordina los GTT de CODIIGE relativos a espacios protegidos, hábitat y distribución de especies, responsable del Centro Nacional de Referencia (Biodiversidad) de la AEMA de la Red EIONET española. Representante de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente del MITERD en el Consejo Superior Geográfico de España.

Ángel Roldán Martínez

Jefe de Sección Técnica en la Subdirección General de Aire Limpio y Sostenibilidad Industrial, unidad en la que se integra el SEI, en el MITERD. Es responsable del sector LULUCF en el NIR. Anteriormente en la empresa pública GEACAM como técnico SIG fue coordinador técnico del proyecto para la elaboración de un mapa de modelos de combustible y de un inventario forestal regional en Castilla-La Mancha.