

Revista de Estudios Andaluces (REA)

e-ISSN: 2340-2776.

REA Vol. 33 (2016). <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2016.i33>

Evolución de la Superficie Forestal en Andalucía (1956-2007). Procesos y Factores

Evolution of Forest Cover in Andalusia (1956-2007). Processes and Drivers

Oliver Gutiérrez-Hernández

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS – CSIC)
ogutierrez@irnas.csic.es

José M^a Senciales-González

Universidad de Málaga (UMA)
senciales@uma.es

Luís V. García-Fernández

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS – CSIC)
ventura@cica.es

Formato de cita / Citation: Gutiérrez-Hernández, O.; Senciales-González, J.M^a.; García-Ferández, L.V. (2016): Evolución de la superficie forestal en Andalucía (1956-2007). Procesos y factores. *Revista de Estudios Andaluces*, vol. 33 (1), 111-148. <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2016.i33.06>

Enlace artículo / to link to this article: <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2016.i33.06>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0 Internacional

<http://editorial.us.es/es/revista-de-estudios-andaluces>
<https://ojs.publius.us.es/ojs/index.php/REA>

Evolución de la Superficie Forestal en Andalucía (1956-2007). Procesos y Factores

Evolution of Forest Cover in Andalusia (1956-2007). Processes and Drivers

Oliver Gutiérrez-Hernández¹

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS – CSIC)

ogutierrez@irnas.csic.es

José M^a Senciales-González

Universidad de Málaga (UMA)

senciales@uma.es

Luís V. García-Fernández

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS – CSIC)

ventura@cica.es

Recibido: 29 de abril, 2016

Revisado: 14 de julio, 2016

Aceptado: 18 de julio, 2016

Resumen

Algo más de la mitad de la superficie de Andalucía está ocupada por espacios forestales. En el presente artículo, exponemos un estudio de la distribución de estos espacios a partir de los mapas de usos y coberturas vegetales de 1956 y 2007. Estudiamos los cambios globales, los procesos de persistencia, ganancia y pérdida dentro de una misma cobertura, así como los procesos de transferencia entre coberturas. Seleccionamos un conjunto de factores para abordar una primera explicación de los patrones espaciales subyacentes en la distribución. Los resultados muestran que los espacios forestales se mantuvieron en las áreas montañosas, condicionados por factores como la litología, las pendientes y gradientes de proximidad a zonas urbanizadas. Se ha producido un gran incremento de la superficie forestal arbolada en el conjunto de la región consistente en casi todas las provincias andaluzas, debido especialmente a la acción de las repoblaciones forestales.

Palabras clave: Superficie forestal, análisis de cambios, drivers, Andalucía

¹ Autor de la correspondencia.



Abstract

Slightly more than half of the region of Andalusia (South of Spain) is covered by natural areas: forests, shrublands, grasslands or opened unproductive spaces (rocks, sands). In this paper, we present a study of the spatial distribution of forest cover in Andalusia by using the land cover maps of 1956-2007. We analysed the land cover changes, the processes of land cover changes as gains, losses and persistence, and the processes of transfer between every pair of land-covers. We selected a set of factors to address a first explanation for understanding the spatial patterns of forest cover in Andalusia. The results show that forest cover was kept in mountainous areas, conditioned by factors such as lithology, slopes and gradients proximity to urban areas. On the other hand, it has occurred a huge increase in forest wooded areas because of the consequences of reforestation projects, and also because of processes of forest regeneration, although to a minor extent.

Keywords: Forest cover, land change analysis, drivers, Andalusia



1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL ESTUDIO DE LOS USOS DEL SUELO Y LAS COBERTURAS VEGETALES

Usos y coberturas (o cubiertas) definen la ocupación del suelo. Son conceptos imbricados y directamente relacionados con la caracterización de la superficie de la Tierra (Di Gregorio y Jansen, 2000). Como cobertura, se define a una porción de superficie terrestre caracterizada por sus propiedades físicas o biofísicas: puede ser un sustrato rocoso, un bosque, una superficie de agua, etc. Las actividades humanas introducen una dimensión funcional a las cubiertas terrestres e incorporan la noción de uso. Usos y coberturas admiten diferentes niveles de desagregación temática y espacial, son conceptos operativos y escalables vinculados también con la gestión del territorio.

La ocupación del suelo está condicionada por la interacción entre los rasgos biofísicos del territorio y la actividad humana a lo largo del tiempo (Veldkamp y Lambin, 2001). En muchas regiones del mundo, la actividad humana ha sido el factor más determinante a la hora de explicar los cambios en la ocupación del suelo (Ellis et al., 2010), si bien es fundamental comprender que dichos cambios han sido un producto de reciprocidades existente entre factores ambientales, históricos y socioeconómicos, articulados por los vínculos entrelazados entre las especificidades locales y los contextos globales (Lambin et al., 2001).

En Andalucía, las superficies forestales persisten como un mosaico de formaciones más o menos adaptadas al medio biofísico en el que medran como consecuencia de un largo proceso histórico en el que el manejo del hombre ha tenido un papel fundamental tanto en la distribución de zonas forestadas, deforestadas o reforestadas, como en la selección de las especies dominantes, tal es el caso de determinadas especies de los géneros *Quercus* o *Pinus*. La agricultura y la ganadería han sido dos de los agentes que han tenido una mayor importancia en la transformación de la superficie forestal de la región (Cruz Villalón, 1983), donde, como en el conjunto del país, el término “monte” se usa para referirse a los espacios forestales como espacios marginales en contraposición con los terrenos productivos o agrícolas. El monte ha quedado como “el resto” en los lugares más inaccesibles (Valdés y Gil Sánchez, 1998).

La fotointerpretación de imágenes aéreas ha sido el procedimiento más utilizado para discriminar las cubiertas terrestres (Fernández García, 2003). Desde los años setenta del siglo XX, cada vez más se trabajan con sistemas de teledetección automatizados y semi-automatizados para el reconocimiento de texturas y patrones espaciales. Se utiliza uno u otro procedimiento en mayor o



menor medida según los objetivos perseguidos, las escalas de trabajo y los recursos disponibles (Chuvienco, 2008). Finalmente, estos productos de la teledetección se codifican como coberturas cartográficas digitales integradas en un Sistema de Información Geográfica.

1.2. LOS PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO DE LA OCUPACIÓN DEL SUELO

Temas tan candentes como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad o la degradación del suelo son consecuencia de procesos globales que tienen su origen en la suma de transformaciones locales en los usos y coberturas del suelo (Vitousek et al., 1997). Organizaciones internacionales como la FAO han venido desarrollando proyectos orientados hacia el estudio de los cambios en la ocupación del suelo para el seguimiento de múltiples fenómenos ambientales interrelacionados con las actividades humanas (FAO, 1984).

La monitorización de la ocupación del suelo ha sido una importante herramienta para la política ambiental de la Unión Europea. En 1988, se inicia el programa CORINE (Coordination of Information on the Environment), un proyecto que nacía con el fin de recopilar información medioambiental de interés para el conjunto de los países miembros de la Unión. La UE necesitaba instrumentos eficaces para abordar la gestión de un territorio tan complejo, a la par que sólidos argumentos para la toma de decisiones en sus políticas comunitarias, buena parte de las cuales tienen con un marcado componente territorial. Por ello, en el seno del citado programa, se gesta el proyecto CORINE LAND COVER (CLC), cuyo objetivo inicial fue la creación de una base de datos espacial sobre coberturas terrestres a escala 1:100.000, definida por una clasificación jerárquica de 3 niveles y 44 clases. Conforme avanzó el programa, los estados comenzaron a implicarse en su desarrollo fomentando múltiples proyectos de vigilancia y seguimiento de la ocupación del suelo.

En España, existen diferentes antecedentes de proyectos relacionados con los usos del suelo. Los mapas topográficos suponen un claro antecedente (Muro Morales et al., 2002). El antiguo proyecto de Mapa Forestal de España comienza en el siglo XIX y no se concluye hasta la década de los sesenta del siglo XX (González y Álvarez, 2004). El Mapa de Cultivos y Aprovechamientos se desarrolla en la década de los setenta y todavía constituye una base cartográfica de referencia nacional. Por último, el Catastro parcelario que, aunque con fines fiscales, ha ido representando y actualizando una radiografía de las características de la propiedad y la ocupación del suelo en nuestro país desde la Ley de Catastro Parcelario de 1906 (Moreno Bueno, 2008).

Ya en el año 2005, en consonancia con la estrategia europea, nace el SIOSE - Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (Valcárcel Sanz, 2012), un proyecto enmarcado dentro del Plan Nacional de Observación del



Territorio en España, dirigido por el Instituto Geográfico Nacional / Centro Nacional de Información Geográfica, y con vocación de coordinar esfuerzos entre las distintas administraciones autonómicas para generar una infraestructura de datos espaciales sobre usos y coberturas del suelo a nivel nacional, superando las limitaciones de escala del programa europeo.

Andalucía ha sido una comunidad pionera en el desarrollo de instrumentos de gestión de información medioambiental (Moreira Madueño, 2006). En la década de los ochenta, comenzaba la andadura el Sistema de Información Medioambiental (Sinamba) -germen de la actual Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)- produciendo el primer Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía a escala 1:50.000 en 1991. Le sucederían las actualizaciones de 1995, 1999, 2003 y 2007, que aumentaron la escala a 1:25.000 en las tres últimas versiones. Esta misma escala también fue empleada en la creación de los mapas equivalentes basados en la fotointerpretación de las imágenes aéreas de para los años 1956, 1977 y 1984, por lo que se constituyó una base de datos espacial de usos y coberturas de enorme importancia para el seguimiento de la ocupación del suelo en Andalucía durante los últimos cincuenta años. Desde 2005, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía integra la producción cartográfica sobre ocupación del suelo en el marco del proyecto SIOSE. La última versión del MUCVA25 tiene 2007 como fecha de captura. Actualmente. Los mapas de usos y coberturas vegetales del SIOSE para Andalucía se producen a escala 1:10.000 (Rediam, 2011).

1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo general del presente trabajo ha sido el estudio de la distribución y evolución de la superficie forestal en la Comunidad Autónoma de Andalucía a través del análisis cuantitativo y cualitativo de los cambios en la ocupación del suelo producidos entre dos fechas, 1956 y 2007, que corresponden con el primer y último de los Mapas de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía.

Desde el punto de vista operativo, registramos como forestales las coberturas definidas explícitamente en el MUCVA25 con la denominación “superficies forestales y naturales” (Nivel 1), detalladas posteriormente en el apartado de metodología.

Respecto a algunos informes publicados sobre la materia (Bermejo Pérez et al., 2011), hemos realizado las siguientes aportaciones novedosas:

Una revisión de la literatura científica para documentar los cambios producidos y alimentar la discusión científica sobre la materia.



Una primera aproximación sobre el papel de los principales drivers explicativos de la distribución de los usos y cubiertas forestales.

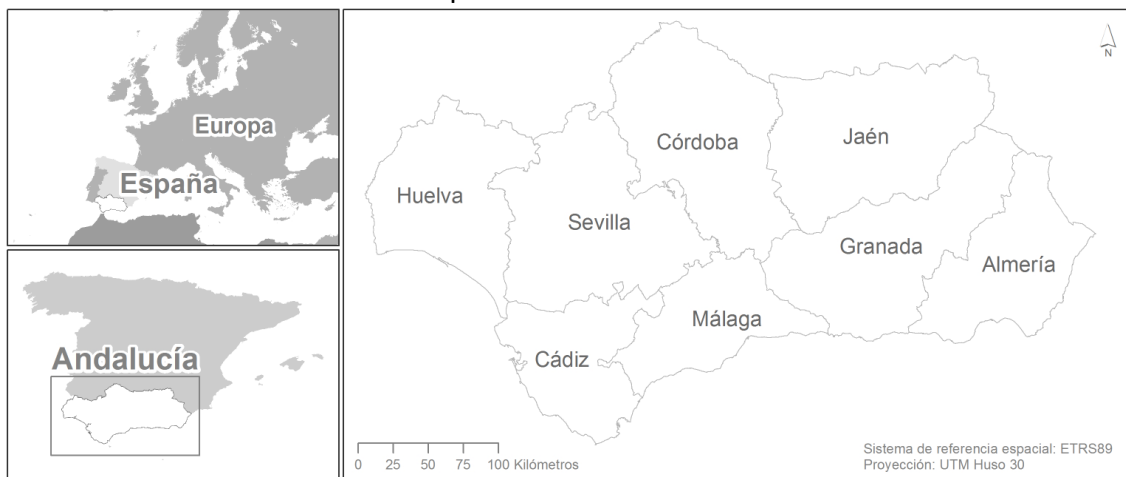
Análisis de cambios e intercambios, transiciones y persistencias de las distintas cubiertas forestales en el espacio y en el tiempo. En este punto, se incluye la producción de gráficos de intercambio y cartografía con la distribución de los procesos mencionados.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (Mapa 1) comprende el conjunto de la comunidad autónoma de Andalucía (España), la región más meridional de Europa y una de las áreas más occidentales de Eurasia (López Ontiveros, 2003). Se trata de un territorio muy diverso situado en el sector meridional de las latitudes medias que abarca una superficie de 87.609 km², un espacio matizado por múltiples contrastes físicos y antrópicos en el contexto geográfico-histórico de las áreas emergidas de la cuenca mediterránea; y, una región en la que, además, algunos autores perciben cierta unicidad punto de vista geográfico, histórico y cultural (Cano García, 1983), aunque en realidad su unidad política es muy reciente. Unidad y diversidad manifiesta en las distintas provincias y en sus comarcas, en los muy diversos paisajes naturales y culturales, entre la franja litoral y el dominio interior, entre los espacios montañosos o las depresiones.

Mapa 1. Área de estudio.



Fuente: Elaboración propia. A partir de DERA, Datos Espaciales de Referencia de Andalucía.



2.2. FUENTE DE DATOS ESPACIALES, PROCESADO CARTOGRÁFICO Y DEPURACIÓN DE ERRORES

Como adelantamos en los objetivos, la base cartográfica de nuestro trabajo es el Mapa de Usos y Coberturas de Andalucía a escala 1:25.000 referido a los años 1956 y 2007. MUCVA25 es la cartografía de referencia (hasta su integración con el SIOSE) en Andalucía para escalas intermedias, y se ha elaborado siguiendo procedimientos manuales de fotointerpretación con apoyo de ortofotografías e imágenes de satélite, por lo que su producción es laboriosa (Rediam, 2007). El mapa de 1956 está basado en la ortofoto (blanco y negro) del citado año con 1 metro de resolución; y, el mapa de 2007, es resultado de la fotointerpretación de la ortofoto (color/infrarrojo) del mismo año con 0,5 m de resolución, y apoyo de imágenes Landsat TM de una resolución de 30 m e imágenes SPOT con 10 m de resolución. Los mapas de 1956 y 2007 comparten la misma leyenda y se hallan integrados geométrica y topológicamente.

La leyenda del mapa está basada en un sistema jerárquico que despliega tres niveles a cada cual más detallado. En la Figura 1 ilustramos la estructura de la leyenda con un ejemplo: las clases “matorral denso”, “matorral disperso” y “pastizales” del Nivel 3 (máximo detalle), forman parte de la clase “formaciones arbustivas y herbáceas” del Nivel 2 (detalle medio), que a su vez está incluida en la clase “superficies forestales y naturales” del Nivel 1 (detalle mínimo). Así, en el Nivel 1 se incluyen todas las cubiertas forestales. En el Nivel 2 aparece una primera división, distinguiendo estratos vegetales. En el Nivel 3 progresa esta distinción discriminando niveles de cobertura y estratos y, en el caso de formaciones arbóreas, se distinguen hasta familias o géneros predominantes. En ningún caso se llega a nivel de especie, aunque buena parte de las formaciones arbóreas representan pocas especies, a menudo en formaciones monoespecíficas y con requerimientos ecológicos muy diferentes.

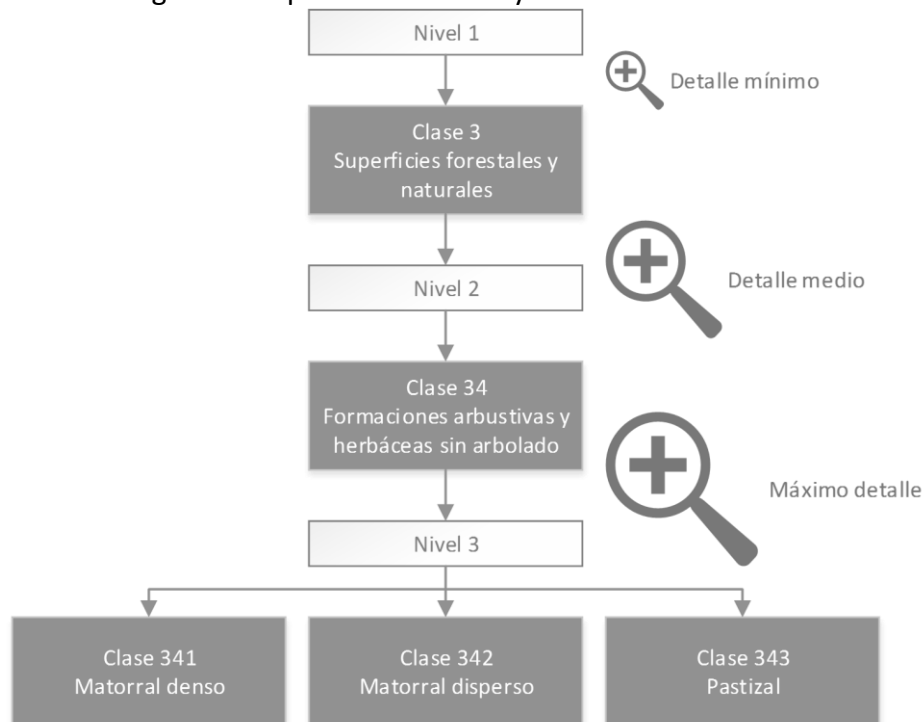
Como se aprecia en el Cuadro 1, cada clase homogénea de un nivel es desagregada en el siguiente nivel. Asimismo, los códigos identificadores de un nivel, se mantienen como prefijo en el siguiente nivel en las clases desagregadas que forman parte de un mismo conjunto en el nivel superior.

En nuestro trabajo, utilizamos todas las clases en los Niveles 1 y 2, y exclusivamente las clases forestales en el Nivel 3. En el primer caso, con el objeto de estudiar los intercambios y transferencias producidas entre todos los usos y cubiertas y así ofrecer un cuadro general de la situación de los usos y coberturas. En el segundo caso, de acuerdo con el objetivo específico de este trabajo, estudiamos estos intercambios con máximo detalle sólo para las cubiertas forestales, manteniendo el Nivel 2 para relacionar los intercambios entre estas y las coberturas no forestales.



Los datos espaciales fueron procesados con dos Sistemas de Información Geográfica: QGIS 2.14 para gestionar los datos vectoriales originales en que están registrados los mapas de usos del suelo; y, para procesamiento y análisis de datos raster, utilizamos la primera versión de TerrSet, que se corresponde con la versión 18.2 del antiguo software Idrisi de Clark Labs (Eastman, 2015). En realidad, Terrset es una evolución del clásico sistema concebido en 1987 por Ronald Eastman, investigador del Departamento de Geografía de la Universidad de Clark (Worcester). Se trata de un conjunto de aplicaciones verticales orientadas al campo de la investigación científica de procesos geoespaciales, que incluyen desde las clásicas herramientas de GIS y teledetección, hasta un completo set de módulos independientes y multifuncionales. Uno de ellos, con el que trabajamos para esta publicación, es el Land Change Modeller (Eastman, 2009), el cual permite realizar análisis estadísticos de cambios de usos y coberturas y mapas de cambios en cubiertas terrestres, con la posibilidad de modelar las transiciones potenciales a través de distintos modelos estadísticos y cuantificar además algunos servicios ecosistémicos como el secuestro de carbono. Empleamos los sub-módulos “Change Analysis” y “Transition Potentials” del citado software (Figura 2).

Figura 1. Esquema de niveles y clases del MUCVA25.



Fuente: Elaboración propia. A partir de MUCVA25.

Cuadro 1. Niveles y clases empleadas del mapa de usos y coberturas (MUCVA25).
(En verde, cubiertas forestales)

Nivel 1. Clases

Código	Descriptor
1	Superficies construidas y alteradas
2	Superficies agrícolas
3	Superficies forestales y naturales
4	Superficies de agua y zonas húmedas

Nivel 2. Clases

Código	Descriptor
¹ - 11	Superficies construidas y alteradas
² - 21	Superficies en secano
² - 22	Superficies en regadío
² - 23	Áreas agrícolas heterogéneas
³ - 31	Formaciones arboladas densas
³ - 32	Formaciones de matorral con arbolado
³ - 33	Formaciones de pastizal con arbolado
³ - 34	Formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado
³ - 35	Espacios abiertos con escasa vegetación
⁴ - 41	Zonas húmedas y superficies de agua

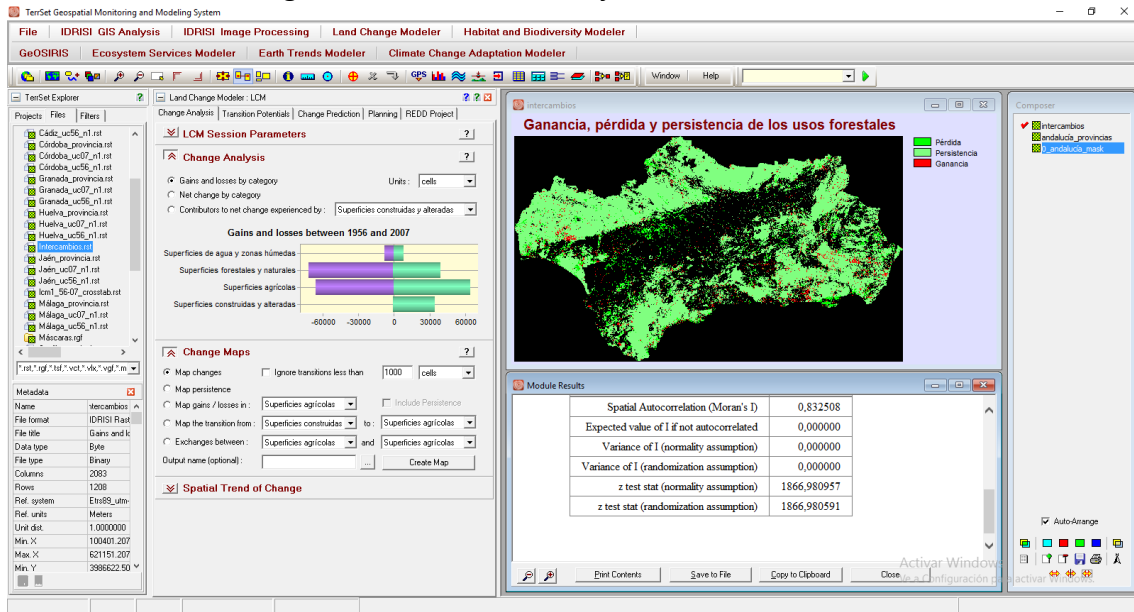
Nivel 3. Clases (sólo cubiertas forestales: código 3)

Código	Descriptor
³ - ³¹ - 311	Arbolado denso de quercíneas
³ - ³¹ - 312	Arbolado denso de coníferas
³ - ³¹ - 313	Arbolado denso de eucaliptos
³ - ³¹ - 314	Arbolado denso de otras frondosas y mezclas
³ - ³² - 321	Matorral con quercíneas
³ - ³² - 322	Matorral con coníferas
³ - ³² - 323	Matorral con eucaliptos
³ - ³² - 324	Matorral con otras frondosas y mezclas
³ - ³³ - 331	Pastizal con quercíneas
³ - ³³ - 332	Pastizal con coníferas
³ - ³³ - 333	Pastizal con eucaliptos
³ - ³³ - 334	Pastizal con otras frondosas y mezclas
³ - ³⁴ - 341	Matorral denso
³ - ³⁴ - 342	Matorral disperso
³ - ³⁴ - 343	Pastizales
³ - ³⁵ - 351	Playas, dunas y arenales
³ - ³⁵ - 352	Áreas incendiadas
³ - ³⁵ - 353	Otros espacios con vegetación escasa

Fuente: Elaboración propia. A partir de MUCVA25.



Figura 2. Entorno de trabajo del sistema Terrset.



Fuente: Elaboración propia. A partir de una captura del entorno de Terrset (Clark Labs).

MUCVA25 es una cartografía en formato vectorial. El mosaico de usos y coberturas está formado por más de 25.000 polígonos en el nivel de máxima desagregación. Cada polígono se corresponde con una cubierta terrestre y tiene asociado un atributo temático en una base de datos relacional. Cada nivel está codificado como una variable en la base de datos. Por la gran cantidad de datos que almacena, el formato es poco eficiente para realizar análisis espaciales complejos. Por ello, fue necesario convertir los datos a un formato más adecuado. Así, convertimos los polígonos originales a una malla raster de 250 metros de resolución, escala considerada adecuada para estudios este tipo de estudios regionales y suficiente para detectar entidades forestales lineales. Así produjimos un mapa raster por cada nivel y año con el objeto de compararlos y estudiar el análisis de los cambios entre 1956 y 2007.

Previamente, fue necesario revisar y editar las capas de datos vectoriales originales (oficiales) para buscar y corregir posibles errores. Aunque los datos espaciales oficiales pasan estrictos controles de calidad, conviene verificar los mismos en sus características geométricas, topológicas y atributivas. Además, se requiere un conocimiento experto de la naturaleza de los datos para verificar posibles incongruencias temáticas no detectadas por los operadores de cartografía. Y, en efecto, corregimos (y reportamos a la fuente: REDIAM) hasta 55 errores de geometría y atributos temáticos realizando un análisis basado en consultas espaciales sistemáticas.

En esta publicación, las superficies aparecen expresadas en hectáreas (y tanto por ciento %), como es habitual en temas forestales. Para expresar numéricamente los cambios registrados entre los periodos de tiempo t1 (1956) y t2 (2007), utilizamos



como notación matemática la cuarta letra del alfabeto griego en mayúscula, Delta (Δ), delante de cada registro junto al signo positivo o negativo (e.g. $\Delta +3.000$ has, esto es, un aumento de 3.000 hectáreas), una notación no tan empleada en análisis de cambios; así evitamos confusiones en la lectura valores de estado t1 o estado t2 y valores de cambio (t1) + (t2).

2.3. ANÁLISIS DE CAMBIOS Y FACTORES EXPLICATIVOS

El análisis de cambios en la ocupación del suelo se realizó empleando tabulación cruzada. Realizamos las observaciones comparando los mapas de 1956 (t1) y 2007 (t2) basándonos en la metodología de Robert Pontius (Pontius et al., 2004) implementada en el módulo Land Change Modeller del software Terrset (Eastman, 2015). Esta metodología también ha sido utilizada exitosamente por otros autores para analizar cambios de usos y coberturas del suelo (Plata et al., 2009).

El estudio de la distribución y el análisis de los cambios se abordaron con tablas estadísticas de estado y matrices de cambios, basadas en los mapas de estado y mapas de cambios. Los cambios fueron registrados cuando encontramos píxeles con diferentes clases en las mismas localizaciones (mismo píxel) entre los diferentes momentos contemplados, t1 (1956) y t2 (2007). Como indicamos anteriormente, trabajamos en paralelo con los tres niveles de desagregación de la leyenda del MUCVA25, comparando entre las distintas clases de cada nivel: t1 (nivel 1) versus t2 (nivel 1); t1 (nivel 2) versus t2 (nivel 2); t1 (nivel 3) versus t2 (nivel 3).

A través de las tablas de estado registramos las superficies globales de cada clase, a nivel regional y a nivel provincial. Y con las matrices de cambios estudiamos los intercambios globales, representados por el balance producto de las ganancias y las pérdidas en cada clase, graficando además los intercambios producidos entre clases, esto es, representando conjuntamente ganancias y pérdidas o cómo contribuye cada clase en el aumento o retroceso de la superficie de otra.

El grueso de la producción cartográfica representa la evolución que se ha producido entre los momentos t1 y t2. Con los mapas de cambios proyectamos los procesos de persistencia, avance y retroceso una misma cada clase o los procesos de transferencia entre clases. Definimos persistencia como el mantenimiento de una clase dentro de la misma unidad mínima cartografiable (que en nuestro caso es el píxel = 250 m). Ocurre transferencia cuando se produce el cambio de una clase por otra dentro de los límites de la misma unidad mínima cartografiable. Los mapas de persistencia muestran las áreas donde los píxeles de las clases representadas se han mantenido estables. Los mapas de transición muestran las áreas donde los píxeles de una clase se han convertido en píxeles de otra clase. Finalmente, una clase avanza cuando se incorpora dentro de un área donde antes no estaba presente; y, retrocede cuando sucede



justamente lo contrario. Por tanto, los mapas de evolución representan áreas donde se representa los cambios de una clase, donde: avance, es cuando una clase aparece en un píxel donde anteriormente no estaba; retroceso, es cuando la misma clase deja de aparecer en un píxel donde anteriormente sí estaba; y, persistencia, es cuando la clase ha estado presente en el mismo píxel en los momentos t1 y t2.

Seleccionamos un conjunto de variables no correlacionadas para abordar un principio de explicación acerca de los patrones espaciales existentes en la distribución de las cubiertas forestales. En la literatura científica sobre análisis de cambios en los usos y cubiertas terrestres, estas variables reciben la denominación de drivers (Lambin et al., 2001). La relación de drivers utilizados aparece en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Variables explicativas o drivers.

Variables explicativas	Código	Unidades	Fuente / proceso
Elevaciones	elev	Metros	IECA / Modelo digital del terreno
Pendientes	slope	Grados	Modelo de radiación
Radiación	solar	Nº horas	Modelo de incidencia solar
Litológico	litologic	Clases	IGME. Geológico 1:400.000
Distancia a la costa	dist_cost	Metros	Distancia euclidiana a línea de costa
Distancia a corrientes	dist_hidro(x)	Metros	Distancia euclidiana a hidrografía
Distancia a poblaciones	dist_pob	Metros	Distancia euclidiana a poblaciones
Distancia a carreteras	dist_via1	Metros	Distancia euclidiana a carreteras
Distancia a caminos	dist_via2	Metros	Distancia euclidiana a caminos

Fuente: Elaboración propia.

Dos aclaraciones. Respecto a la distancia a la red hidrográfica, calculamos hasta seis mapas de proximidad basándonos en la jerarquía fluvial (Strahler), que, según la base de referencia hidrográfica de los Datos Espaciales de Referencia de Andalucía, va desde orden 1 (dist_hidro1) a orden 6 (dist_hidro6) para el conjunto de la región. No obstante la jerarquización de la red del IECA no sigue un criterio de alta definición recomendado (Senciales, 1999). De los seis, sólo utilizamos como factor el que demostró una mayor asociación. Acerca del geológico, aplicamos una transformación Evidence Likelihood a las clases litológicas en relación con los usos del suelo.

Para estimar el grado asociación entre los factores y los usos y coberturas vegetales, calculamos la V de Cramer, una medida simple basada en el estadístico ji-cuadrado, donde $VC=0$ expresa una mínima asociación y $VC=1$, una máxima asociación (Rees, 2008). Este estadístico opera con una tabla de contingencia de doble entrada, por lo que requiere que todos los factores cuantitativos sean convertidos a categorías. Siguiendo el criterio de Eastman (2015), cuando $VC > 0,15$ se considera que el driver comienza a ejercer una influencia suficiente sobre la distribución de la cobertura terrestre; y, cuando $VC > 0,40$ la influencia es elevada.



A efectos de modelización, es una medida muy útil para descartar drivers cuando $VC < 0,15$, si bien no garantiza que valores altos ofrezcan un buen desempeño a la hora de desarrollar modelos estadísticos predictivos. Esto es así porque asume que los datos son independientes entre sí, cuando realmente no lo son, por lo que los p valores asociados a la V de Cramer realmente tienen más sentido para descartar firmemente una variable, y no tanto para confiar demasiado en caso de un p valor muy bajo, que es lo normal pues se emplean todos los píxeles para el cálculo del estadístico; y segundo, porque no contempla la complejidad de las interacciones entre diferentes variables.

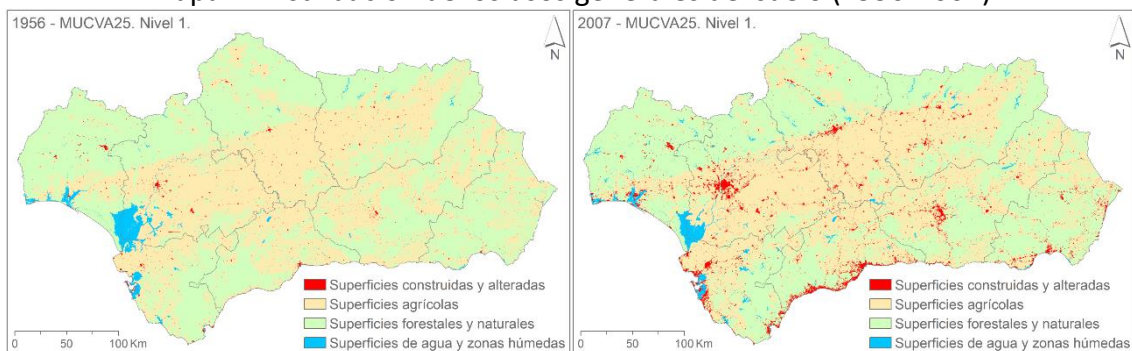
Con todo, según nuestros objetivos, la V de Cramer es un buen estadístico para realizar una primera aproximación y selección de variables explicativas, certero para descartar las que realmente no tienen influencia alguna y útil para discutir sobre la verdadera importancia de los drivers que considera que tiene una mínima influencia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. PERSISTENCIA DE LOS USOS FORESTALES

A grandes rasgos (Mapa 2), en Andalucía los usos principales muestran un binomio entre superficies con vocación forestal y espacios cultivados, las primeras representan en el año 2007 el 50,89 % (4.455.681 hectáreas) y, los segundos, el 44,31 % (3.880.062 hectáreas) sobre total de la comunidad autónoma. Estas magnitudes proyectan un paisaje general entre silvestre y campestre, que, considerando grandes magnitudes, podría decirse que se ha producido un mantenimiento general de la superficie con usos forestales generales durante los últimos cincuenta años, si bien estos han experimentado notables transformaciones internas, en las que abundaremos posteriormente cuando desglosemos los componentes del ámbito forestal.

Mapa 2. Distribución de los usos generales del suelo (1956-2007).



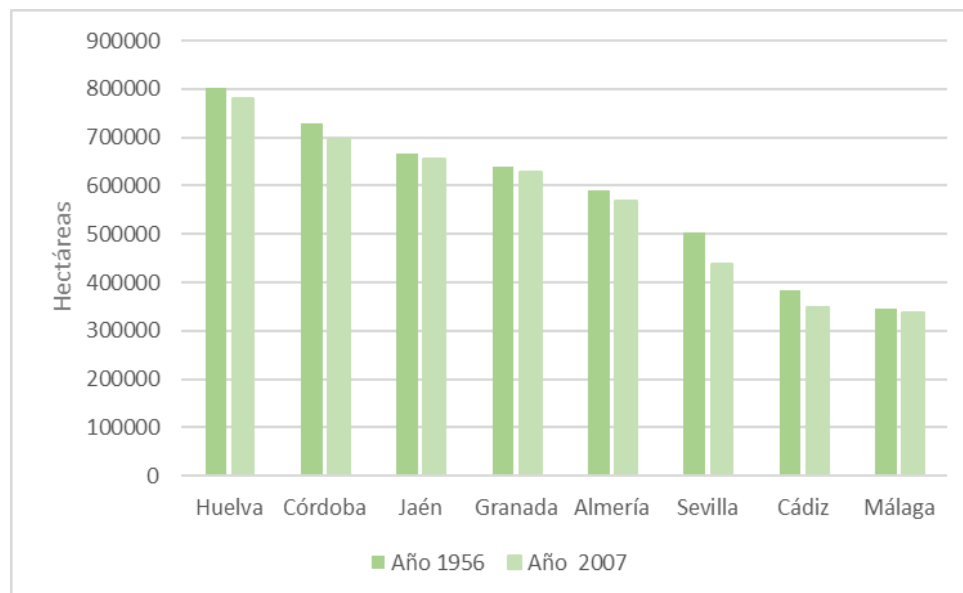
Fuente: Elaboración propia. A partir de MUCVA25 (Nivel 1 de desagregación).

Por su trascendencia ambiental, hemos de hablar de ese ligero descenso de la superficie dedicada a los usos forestales. Ciertamente, en poco más de cincuenta años

los usos forestales apenas han menguado un $\Delta -4,3\%$ de su superficie respecto a 1956, lo que supone, sin embargo, unas $\Delta -201.687$ has, cifra nada desdeñable si comparamos con la superficie total urbanizada en 2007 (269.106 has). No obstante, esta disminución de la superficie con usos forestales es consistente en todas las provincias, como se aprecia en la Figura 3.

Entre 1956 y 2007, Andalucía experimentó un gran avance de las superficies construidas y alteradas, crecimiento que le permitió incrementar hasta en $\Delta +217.0012$ hectáreas las áreas intensamente alteradas a costa de espacios anteriormente cultivados o de antigua vocación forestal, esto es, un aumento $\Delta +416\%$ del área respecto a la superficie urbanizada en 1956. Es en el litoral andaluz donde se originaron las mayores transferencias de cubiertas hacia superficies construidas y alteradas procedentes de anteriores espacios con vocación forestal. En este sentido, destaca la conurbación de la Costa del Sol y el arco metropolitano Campo de Gibraltar.

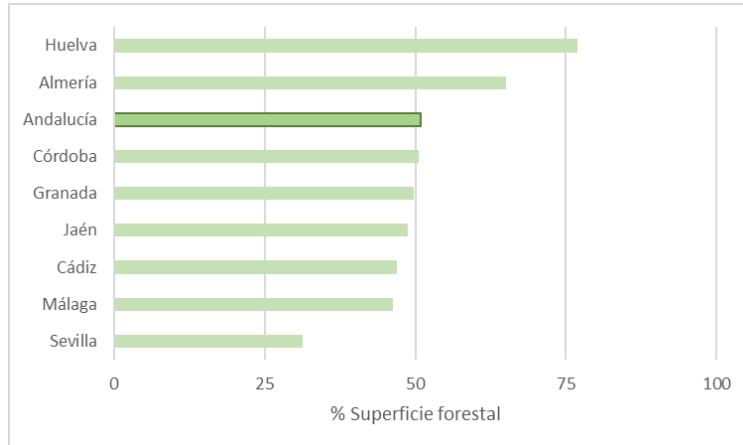
Figura 3. Distribución de la superficie con usos forestales por provincias (1956-2007).



Fuente: Elaboración propia.

Por consecuencia (Figura 4), Huelva es la provincia con mayor superficie forestal en Andalucía, tanto en términos absolutos (780.072 has) como relativos (76,9 %). En términos relativos, le sigue Almería, con el 64,97 % de su superficie ocupada por usos forestales, 569.125 has. En el resto de las provincias, los usos forestales suponen casi la mitad de la superficie de cada una, excepto en Sevilla, donde los usos agrarios son predominantes y alcanzan el 62,1 % (872.106 has). Concluyendo, la mitad de la región está ocupada por usos forestales, guarismos que sitúan la representación de estos usos en la región casi en los mismos porcentajes que estos suponen en el conjunto del país (Gómez Mendoza y López Ontiveros, 2001).

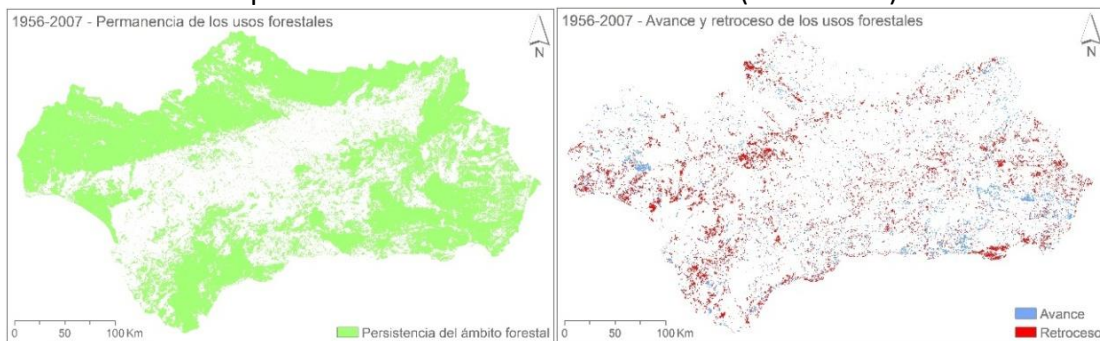
Figura 4. Proporción de los usos forestales respecto al total provincial (2007).



Fuente: Elaboración propia.

Considerando el conjunto de los espacios con usos forestales (Mapa 3), aunque han sido más las pérdidas que las ganancias, es la persistencia el rasgo característico en este ámbito, probablemente debido a que en las superficies en las que se asientan estos usos, más allá de la línea de costa, son más determinantes las restricciones impuestas por las condiciones del medio físico.

Mapa 3. Evolución de los usos forestales (1956-2007).



Fuente: Elaboración propia.

En términos absolutos, la mayor parte de los terrenos que perdieron su vocación forestal lo hicieron a costa de actividades agrícolas y superficies de agua (embalses). Y este fenómeno se ha labrado en mayor medida en las provincias occidentales con mejores condiciones para la agricultura, especialmente en la depresión del Guadalquivir con la puesta en marcha de regadíos. Regadíos que formaron parte de una política de colonización y desarrollo agrario cuyo máximo exponente lo encontramos en los cultivos bajo plástico del litoral almeriense (Molinero Herando y Morales Gil, 2001). Paradójicamente, durante la segunda mitad del siglo XX también se produjo una considerable transición de superficies agrícolas poco productivas hacia

áreas forestales, aunque en espacios eminentemente montañosos, caso de las reforestaciones subvencionadas por la Política Agrícola Común (PAC) de la Unión Europea (Gámez Navarro, 2004; Sillva Pérez, 1995).

Todavía persisten importantes extensiones cultivadas en espacios montañosos (Montes de Málaga y Axarquía, Costa Tropical, La Alpujarra, Campo de Níjar, Valle del Almanzora). Son cultivos tradicionales, minifundistas, intercalados con pequeños reductos de vegetación natural, con origen en la tradición morisca, caracterizados por una ocupación intensiva del espacio, abancalamiento de las laderas y una gran variedad de aprovechamientos agrícolas, a menudo inverosímiles, dadas las limitaciones biofísicas del terreno y la inadecuación de las estructuras agrarias (Benabent, 1986; Gómez Moreno, 1989; Justicia Segovia, 1988; Naranjo Ramírez, 2001).

Un primer análisis de la importancia de las principales variables explicativas (Figura 5) permitió constatar, según la V de Cramer, una gran asociación entre la litología y la distribución de todas las cubiertas terrestres, especialmente las forestales ($VC=0,52$, para 2007). En cierto modo, la persistencia de los usos forestales es un rasgo que puede estar explicado por esta gran relación existente entre la litología y los usos forestales, pues se trata de un factor físico estático. En realidad, este vínculo connota que la litología se asocia a los usos forestales más por limitaciones hacia las actividades agrícolas que por efectos estrictamente favorecedores. Es un driver muy relacionado con el manejo de la tierra, los usos agrarios del suelo. Sin embargo, se aprecia cómo el control litológico ha perdido influencia a la hora de explicar la distribución de los usos generales, y esto es debido fundamentalmente a los procesos de urbanización.

Casi todos los drivers considerados ofrecieron valores por encima de $VC= 0,15$, umbral mínimo a partir del cual se considera que un variable explicativa puede ejercer cierto control sobre la distribución de las cubiertas terrestres, como indicamos en el apartado de metodología. En relación con la importancia relativa de los drivers en el tiempo, los vínculos se han mantenido prácticamente estables entre casi todos los factores y la distribución de los usos forestales, con un ligero repunte generalizado que sugiere una consolidación de los patrones inducidos por los drivers. Esto se aprecia claramente en cómo la distancia a los núcleos de población cada vez tiene una mayor influencia en la distribución de los distintos usos. Este factor ejerce una gran influencia con la distribución de los usos forestales. En esta dirección, también destacan las pendientes.

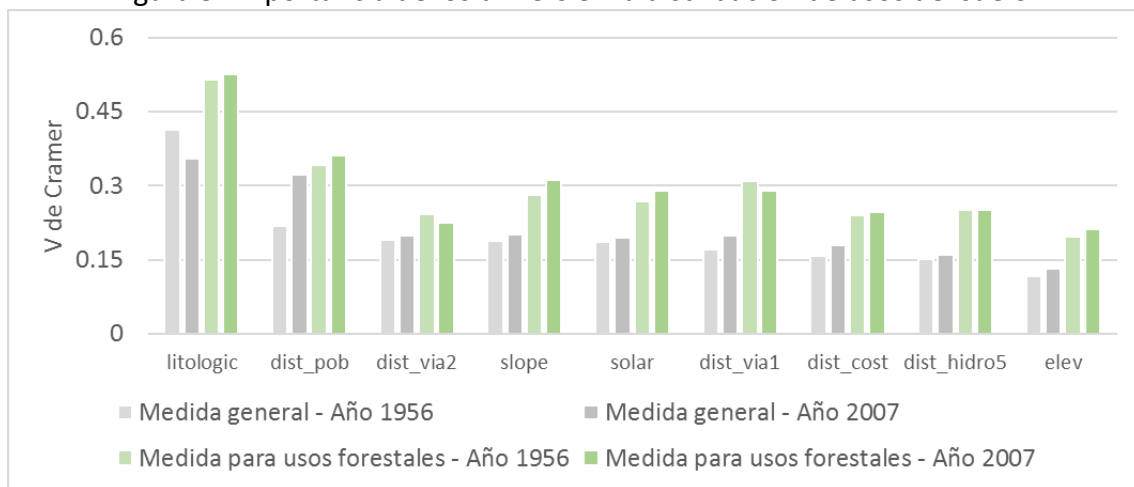
3.2. INCREMENTO DE LA SUPERFICIE ARBOLADA

Hasta ahora hemos descrito la distribución de los usos forestales sin discriminar entre las diferentes cubiertas que, en su mayor parte vegetales, caracterizan estas superficies. En lo sucesivo, analizaremos la superficie de las grandes unidades fisonómico-estructurales de vegetación que forman parte de estos usos descritas en el Nivel 2 del MUCVA25. Siguiendo el segundo nivel de desagregación de la leyenda del



Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía, comenzamos a vislumbrar los primeros matices existentes dentro del conjunto forestal. Así como las zonas cultivadas coinciden con los grandes valles, depresiones y planicies, las formaciones vegetales persisten en las cadenas montañosas. Como decíamos en la introducción, es aquí donde cobra sentido el significado del concepto “monte”: “monte alto” para referirse a los espacios arbolados y “monte bajo” para hacerlo con las áreas cubiertas de matorral. En ambos casos, el término “monte” hay que interpretarlo desde una consideración marginal de los espacios forestales, confinados en su mayor parte en las montañas, en contraposición con los terrenos productivos o agrícolas (Valdés y Gil Sánchez, 1998).

Figura 5. Importancia de los drivers en la distribución de usos del suelo.

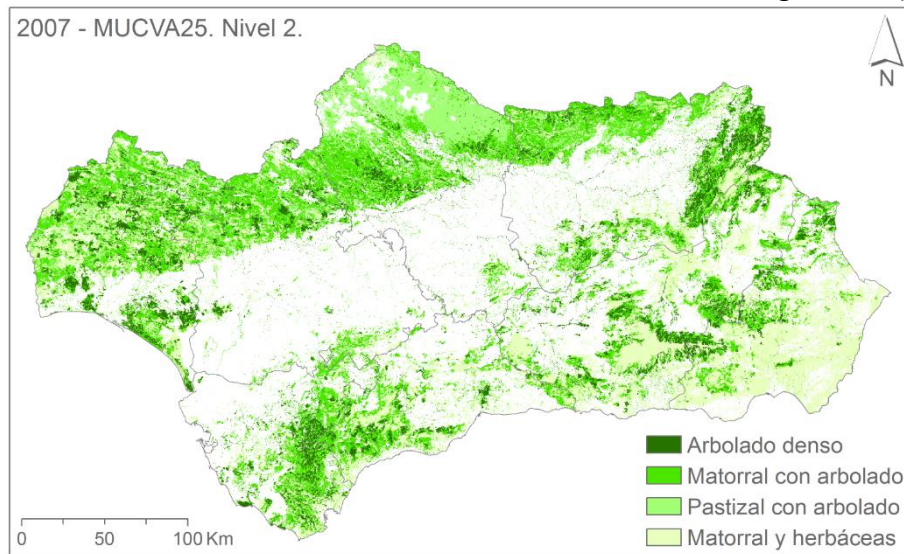


Fuente: Elaboración propia.

En 1956, las formaciones con arbolado, en todos sus grados de cobertura, se agrupaban en las serranías más húmedas y despobladas, especialmente en aquellas con sustratos rocosos poco aptos para la agricultura: en las sierras hiper húmedas como formaciones arboladas densas; y, en las montañas más despobladas e improductivas agrónomicamente, como formaciones arboladas más abiertas. Hacia el sudeste, las unidades arboladas eran escasas, quedando relegadas a cotas muy elevadas, buscando los reductos más húmedos, en un contexto históricamente vinculado con la acción deforestadora de las actividades silvopastorales (García Dory y Martínez-Vicente, 1988), donde predominaban matorrales y formaciones herbáceas efímeras. Como se aprecia en el Mapa 4, las superficies cubiertas de vegetación siguen estando relegadas a los espacios eminentemente montañosos o agrónomicamente improductivos.



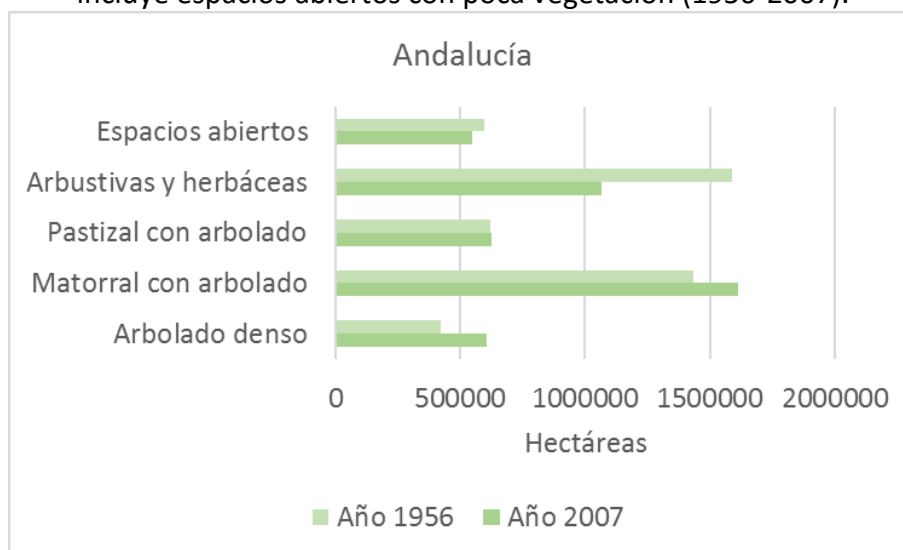
Mapa 4. Distribución de unidades fisonómico-estructurales de vegetación (2007).



Fuente: Elaboración propia. A partir de MUCVA25 (Nivel 2 de desagregación).

Sin embargo, hemos asistido a un profundo proceso de reforestación. Durante los últimos cincuenta años, se ha producido un notable incremento de las superficies arboladas, en todos sus grados de cobertura. Este incremento es también reportado por IFN2-Segundo Inventario Forestal Nacional (Ministerio de Medio Ambiente, 1998) e IFN3-Tercer Inventario Forestal Nacional (Ministerio de Medio Ambiente, 2008). En la misma dirección, nosotros también constatamos este incremento a partir de los datos de ocupación del MUCVA25 en todas las (Figura 6).

Figura 6. Distribución regional de las unidades de vegetación fisonómico-estructurales, incluye espacios abiertos con poca vegetación (1956-2007).



Fuente: Elaboración propia.

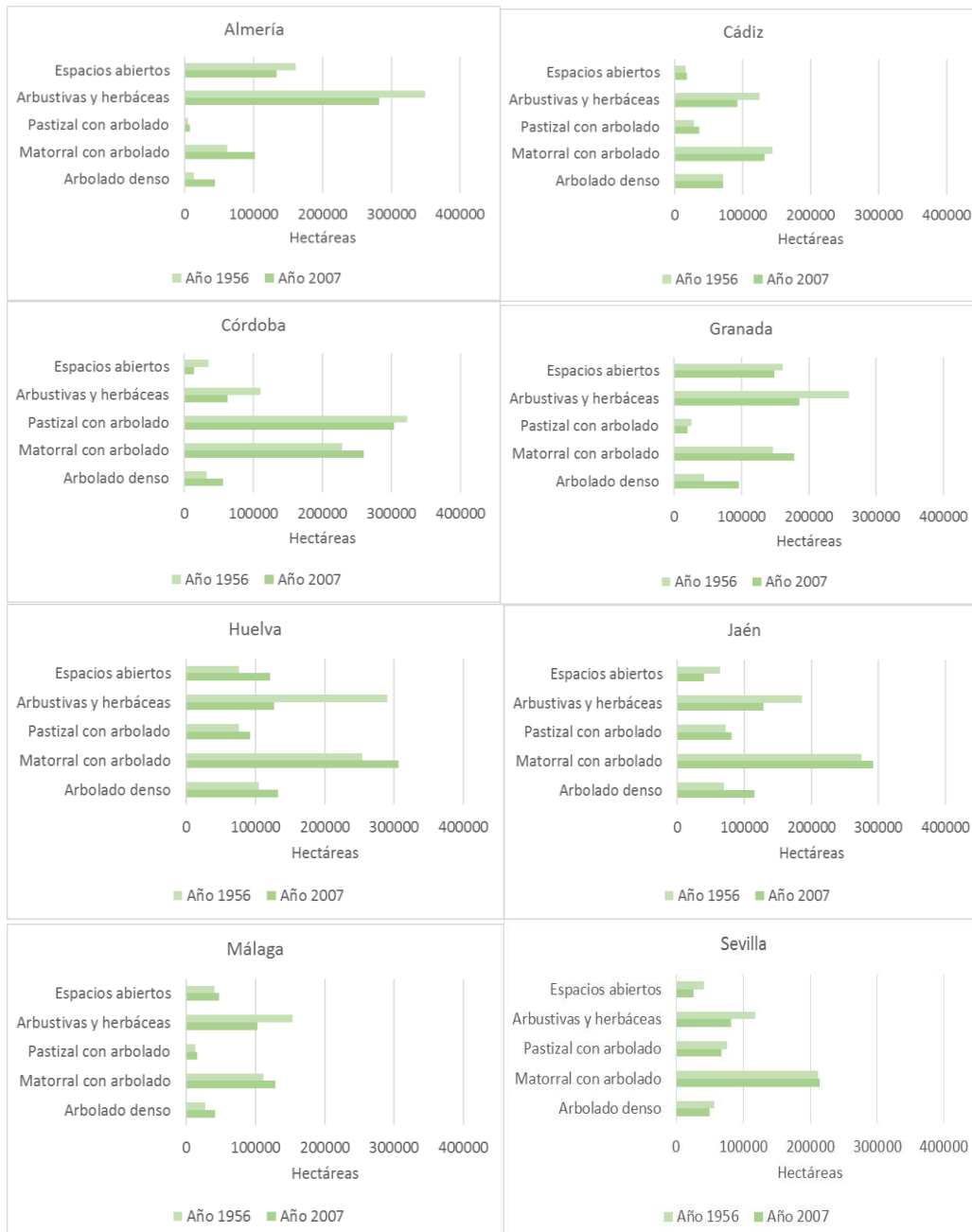
En 2007, las formaciones con distintas coberturas de arbolado representaban el 32,5 % de la superficie total de la comunidad andaluza y, considerando el ámbito forestal, el 63 %, esto es: 606.300 hectáreas cubiertas de arbolado denso, 1.613.131 de matorral con arbolado y 623.056 hectáreas de pastizal con arbolado. Estos datos casan -aproximadamente- con los del IFN3 – Tercer Inventario Forestal Nacional (1997-2007), donde se expresa que las superficies forestales arboladas representan un 34 % de la superficie total. Hay que considerar que existen diferencias entre ambas fuentes porque recogen fechas de captura no coincidentes y distintas metodologías para el cómputo de las superficies, así como diferentes criterios a la hora de establecer los umbrales entre clases forestales. Esta misma fuente reporta que la superficie forestal arbolada respecto al total supone es mayor en el conjunto del país (37 %) que en la comunidad autónoma de Andalucía (34 %), aunque si consideramos la superficie forestal arbolada respecto al total de la superficie forestal esta supone el 68 % (63,7 % según los datos del MUCVA) en Andalucía y el 67 % en el conjunto del país.

A nivel provincial, a través de los datos de MUCVA25 también constatamos un aumento generalizado del arbolado, excepto en Cádiz y Sevilla, donde hubo un ligero descenso. En la Figura 7, se muestra un gráfico con la distribución de las grandes unidades de vegetación por cada provincia en el que hemos utilizado los mismos umbrales en los ejes con los valores en hectáreas para facilitar una rápida lectura comparativa de visu.

En términos absolutos, la provincia con mayor superficie forestal arbolada es Córdoba, con 619.675 hectáreas, de las cuales solo 56.175 hectáreas están cubiertas por formaciones arboladas densas, pues predominan formaciones adehesadas. En términos relativos, Huelva es la provincia donde la superficie forestal arbolada ocupa una mayor proporción, el 52,37 %, unas 531.218, lo que le convierte en la segunda provincia con mayor superficie arbolada en términos absolutos y la primera si consideramos las formaciones forestales arboladas densas. En sentido opuesto, encontramos la provincia de Almería, donde las formaciones arboladas son las más escasas y son las formaciones arbustivas, herbáceas y sin apenas vegetación las predominantes, pues suponen el 48,35 % de la superficie total provincial, unas 514.343 hectáreas, pese a que en los últimos cincuenta años se han reducido considerablemente. En general, se ha producido un descenso generalizado de las formaciones arbustivas y herbáceas (Δ -33,13 %) y espacios abiertos con poca vegetación (Δ -7,78 %), lo que pone en evidencia el éxito de las tareas de reforestación, por lo menos en lo relativo al cambio en la ocupación del suelo.



Figura 7. Distribución de las unidades de vegetación fisonómico-estructurales (incluye espacios abiertos con poca vegetación) por provincias (1956-2007).



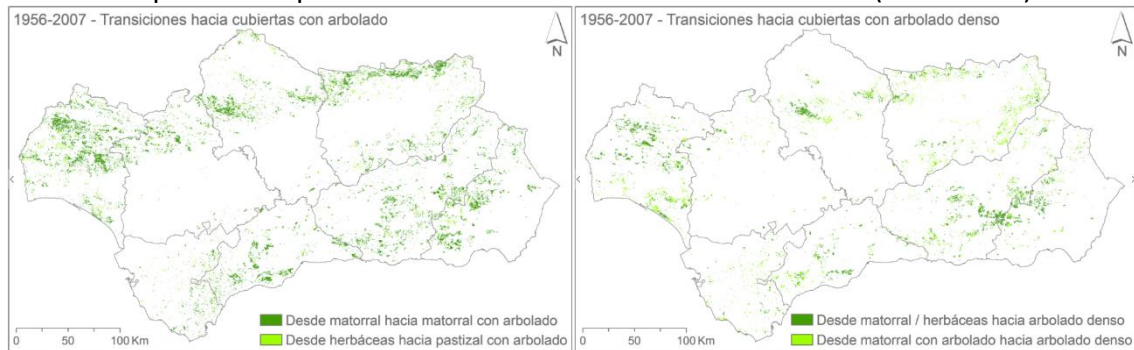
Fuente: Elaboración propia.

Abundando más acerca de la distribución de las unidades de vegetación, en la extensa Sierra Morena, que ya estaba cubierta de arbolado en 1956, avanzaron las superficies con matorral arbolado en detrimento de las formaciones herbáceas. También aumentaron las superficies arboladas en las comarcas interiores de Huelva, hecho en



el abundaremos más adelante. Sin embargo, ha sido en las montañas penibéticas donde se han producido los mayores incrementos de cubiertas arbóreas, producto de las grandes (y hoy discutidas) reforestaciones del periodo franquista (Gómez Mendoza y Mata Olmo, 2002); políticas que sin embargo, hundían sus raíces en las desarrolladas a finales del Siglo XIX y principios del XX, en un intento por frenar los excesos de la desamortización de Madoz (García de Cortázar y González Vesga, 1994). Estas reforestaciones fueron especialmente fructíferas en las montañas de las provincias de Granada (Sierra Nevada, Sierra de Baza) y Almería (Sierra de Filabres, Sierra de María). El análisis de transiciones desde las superficies sin árboles, en 1956, a las arboladas, en 2007, resulta más esclarecedor (Mapa 5).

Mapa 5. Principales transiciones hacia cubiertas arboladas (1956-2007).

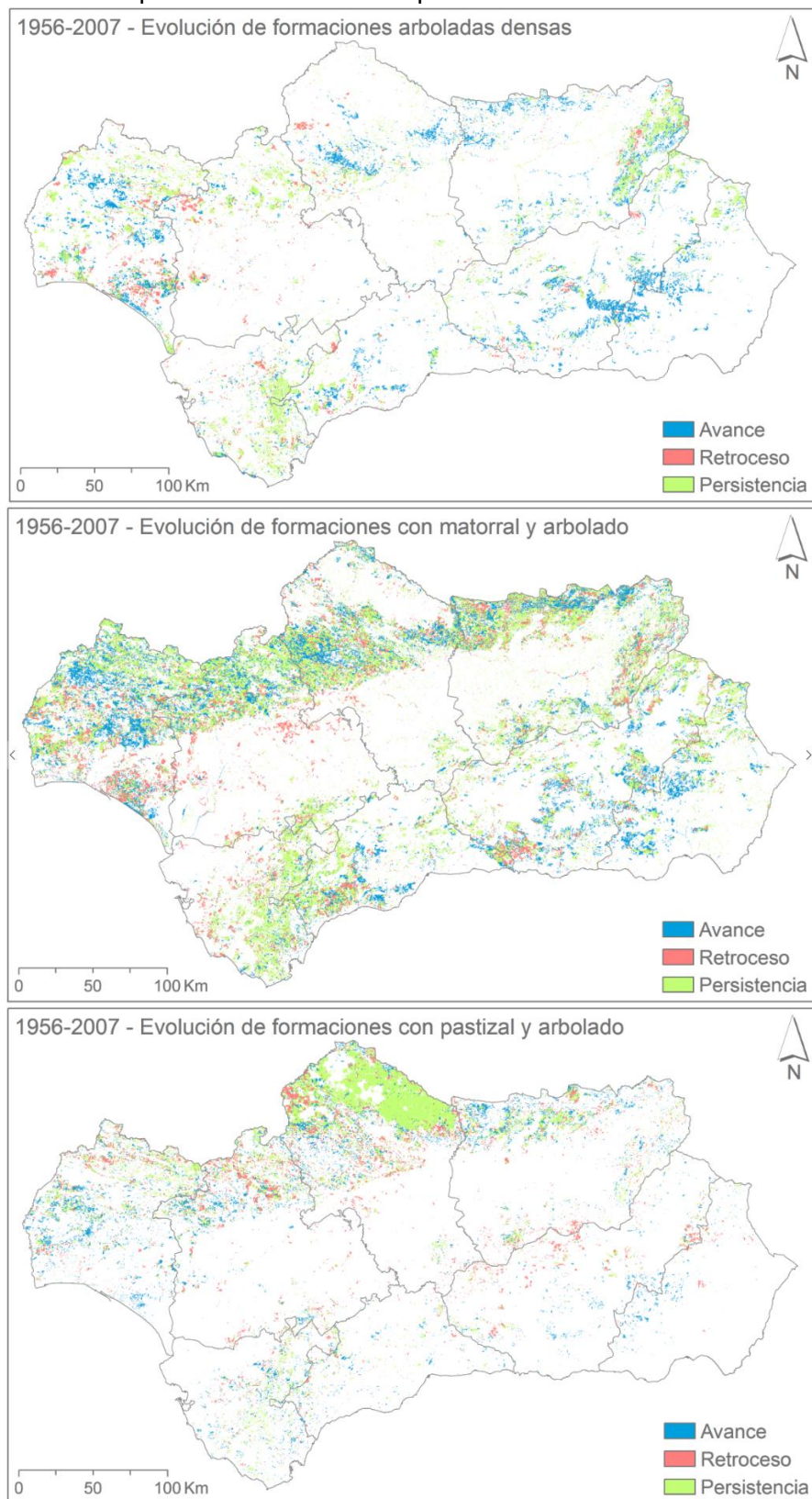


Fuente: Elaboración propia.

Buena parte de las formaciones arbustivas y herbáceas evolucionaron hacia formaciones donde ahora aparecen formaciones con matorral y arbolado o bien formaciones con arbolado denso. En el primer caso, producto de la regeneración natural asistida por trabajos silvícolas y, en el segundo, más por acción directa de las repoblaciones y /o explotaciones forestales, en las que abundaremos en el siguiente apartado. En el Mapa 6 se ilustra la distribución espacial de los intercambios, representando los procesos de avance, retroceso y persistencia de los distintas principales unidades de vegetación arboladas.

Conforme se desagrega la leyenda, el análisis de la influencia de los drivers en la distribución de cubiertas debe enfocarse más hacia un tiempo de cubierta. Normalmente se produce un descenso de la capacidad predictiva general de los drivers sobre el conjunto de cubiertas. Sin embargo, la desagregación posibilita medir la influencia de un driver sobre un tipo específico de cubierta más específica. Aunque la litología continúa siendo el driver más importante y encuentra una gran asociación con las formaciones arbustivas y herbáceas sin arbolado ($VC=0,32$) o formaciones herbáceas con arbolado ($VC=0,30$), el grado de asociación entre distancia a la costa y formaciones arbustivas sin arbolado alcanza $VC=0,42$.

Mapa 6. Evolución de la superficie forestal arbolada.



Fuente: Elaboración propia.



En general, estas formaciones vegetales mencionadas, muestran un mayor grado de asociación factores como las pendientes, radiación solar y gradientes de proximidad que el resto de cubiertas forestales. Coincide esta apreciación con el hecho de los drivers considerados tienen una mayor asociación con los procesos de persistencia. En este sentido, destaca la gran dehesa de Los Pedroches, que ha mantenido un pastizal arbolado durante los últimos cincuenta años, por una combinación de factores biofísicos y antrópicos.

Finalmente, comentar que también se han producido transiciones desde formaciones arbustivas hacia espacios abiertos sin vegetación debido a la acción negativa de los incendios forestales (Araque Jiménez, 2015; Gutiérrez-Hernández et al., 2015). A continuación, profundizaremos en la transformación de las cubiertas forestales.

3.3. TRANSFORMACIÓN DE LAS CUBIERTAS FORESTALES

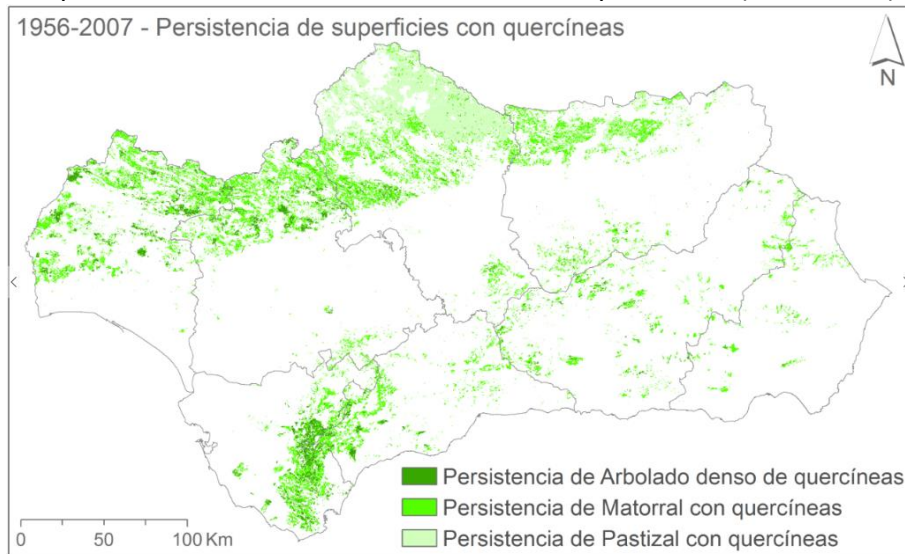
Esa aparente unidad y persistencia de los usos forestales que comentábamos en el primer apartado de los resultados y que, como hemos visto, encubre un proceso de aumento de la superficie arbolada incluida dentro del mismo ámbito forestal, encierra, además, un mosaico de componentes cuya distribución en el tiempo y en el espacio ha sido generalmente desigual. En el Nivel 3 de desagregación del MUCVA25, se distinguen las formaciones vegetales más extendidas llegando incluso hasta la discriminación del género en algunas especies arbóreas predominantes (e.g. *Quercus*).

Las quercíneas son predominantes a lo largo y ancho de Sierra Morena y hacia el oeste de la serranía de Ronda, especialmente en el área del Parque Natural de los Alcornocales. Se trata de las formaciones más estables en Andalucía, representadas mayoritariamente por especies como el alcornoque (*Quercus suber*) y la encina (*Quercus ilex*), pilares constituyentes de la dehesa, un auténtico paisaje cultural e histórico, que destaca tanto por sus valores ambientales como por su vocación de espacio productivo desde el punto de vista agro-ganadero (Silva Pérez, 2010). En el Mapa 7, se ilustra la persistencia de las superficies con quercíneas, pues representa las áreas donde las distintas formaciones de quercíneas han estado presentes desde 1956 hasta 2007.

En Córdoba, la dehesa considerada como el conjunto formaciones arboladas con matorral o herbáceas, registra la mayor superficie provincial de Andalucía, hasta 506.343 hectáreas en el año 2007, lo que supone un 35,2 % de la superficie total de la provincia de Córdoba o un 69,7 % con respecto a la superficie forestal en la propia provincia. Le siguen las provincias de Huelva y Sevilla, con 226.162 y 211.187 hectáreas respectivamente.



Mapa 7. Zonas donde se han mantenido las quercíneas (1956-2007).



Fuente: Elaboración propia.

Así como la dehesa es predominante en Sierra Morena, las formaciones arboladas densas de quercíneas registran una mayor presencia en los lugares más lluviosos. Cádiz y Huelva son las provincias donde las formaciones arboladas densas de quercíneas son más extensas, con 43.200 y 41.600 hectáreas respectivamente. En la provincia de Cádiz, sin embargo, las quercíneas, que están representadas en su mayor parte por alcornocales (a menudo formando masas mixtas junto con acebuches o quejigales), son formaciones con matorral más espesas y alcanzan una superficie de 119.223 hectáreas. Los mayores porcentajes de cobertura arbórea de estas especies han sido históricamente favorecidos por las actividades humanas, que han encontrado en las sierras más húmedas los lugares idóneos para favorecer y densificar el alcornocal para la explotación del corcho, en detrimento de otras especies con las que antaño formaba masas mixtas con mayor frecuencia (Urbieta et al., 2008).

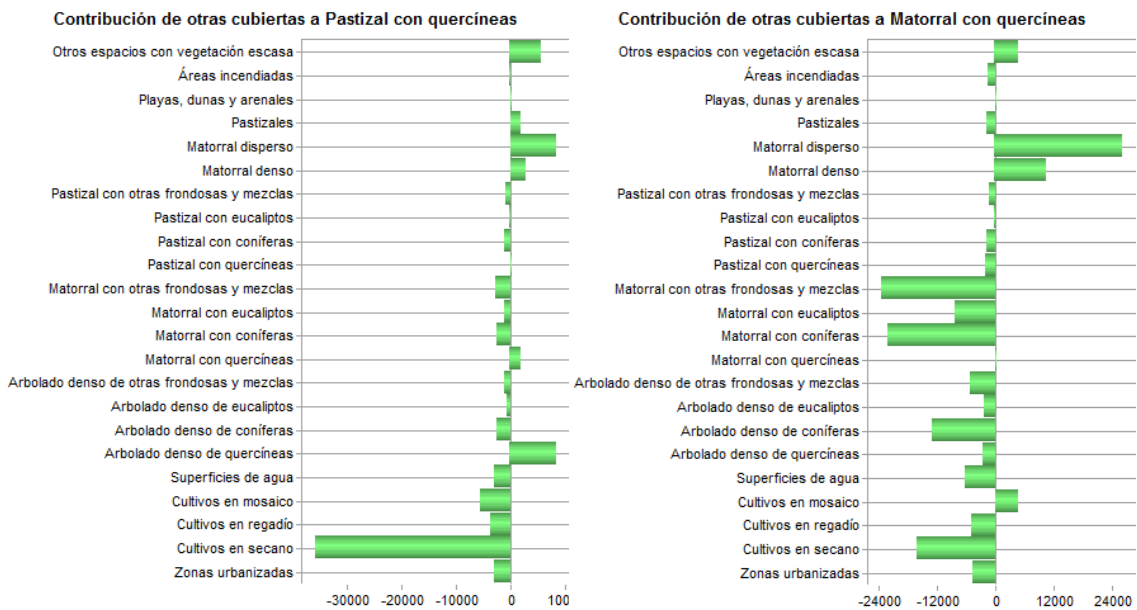
Aunque el análisis de los cambios en quercíneas indica una relativa estabilidad de superficie de las cubiertas con estos árboles del género *Quercus*, sin embargo, examinando con más detalle (Figura 8), entre 1956 y 2007, detectamos una pérdida de Δ -124.600 has, un 8 % del total de las cubiertas con quercíneas. Esta pérdida es consistente en los tres grados de cobertura representados por el MUCVA25.

En los últimos cincuenta años, se ha producido un adehesamiento de múltiples masas dispersas, hecho que inferimos por una reducción (Δ -8.751 has) de las superficies con arbolado denso de quercíneas que han experimentado una transición hacia pastizal con quercíneas. En encinas y alcornoques, el fenómeno conocido como La Seca (Brasier et al., 1993; Montoya Oliver y Mesón García, 2008; Sánchez et al., 2002), que produce decaimiento y mortalidad, ha desembocado en la pérdida de numerosos

árboles. En muchos casos, esto puede traducirse en una transformación de la cubierta forestal registrada en los mapas de ocupación. En este sentido, podría abrirse una línea de investigación para sondear hasta qué punto pueden ser útiles los mapas de ocupación, en sus distintas escalas, para detectar procesos de decaimiento.

Destaca una importante conversión a cultivos de secano procedentes de pastizales con quercíneas (Δ -33.868 has), muy remarcable esta última transferencia en la comarca del Guadiato (Córdoba). Otro tipo de transferencias, las más sobresalientes y complejas, se han producido desde las cubiertas de matorral con quercíneas (Δ -74.756 has). Están caracterizadas por una sustitución del estrato arbóreo del género *Quercus*. En muchos enclaves de Sierra Morena, aparecen otras frondosas donde antes había quercíneas. Extraordinaria es la sustitución de quercíneas por pinares, hecho que se produce en la mitad oriental de Sierra Morena. Conjuntamente, también se ha producido una evolución positiva hacia un estrato arbóreo dominado por quercíneas en muchas zonas anteriormente cubiertas por pastizales y matorrales.

Figura 8. Red de intercambios de otras clases con quercíneas. (1956-2007).



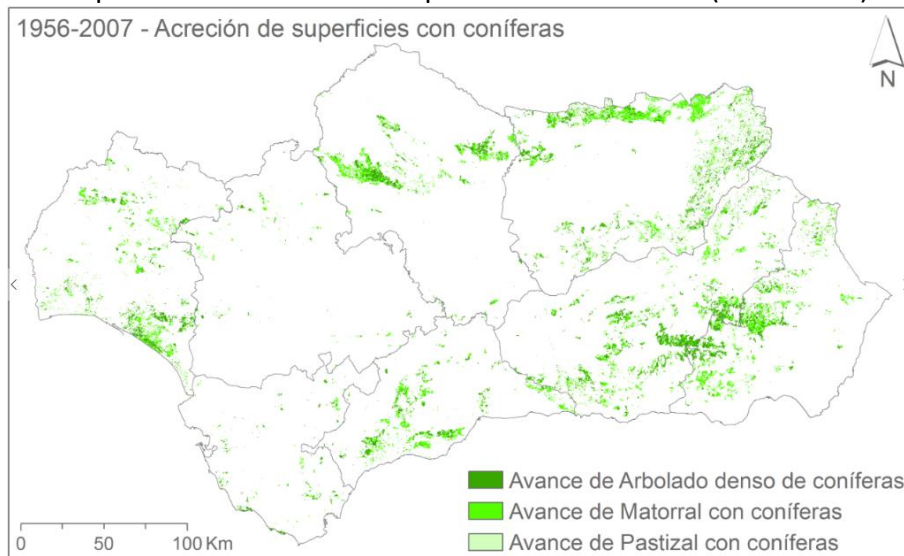
Fuente: Elaboración propia. Unidades en hectáreas.

La distribución de las formaciones dominadas por quercíneas muestra una gran relación con la litología del terreno, sobre todo las dehesas abiertas ($VC=0,31$). Las dehesas abiertas se localizan en lugares poco productivos o improductivos desde el punto de vista agronómico, pero además suelen estar alejadas de la costa y de las principales carreteras, de ahí el estrecho vínculo con el primer driver, *dist_cost* ($VC=0,455$) y el segundo, *dist_via1* ($VC=0,36$).



Si en el caso de las quercíneas ha persistido la mayor parte de su superficie (un 92 %), con las coníferas se ha producido una espectacular acreción de la superficie ocupada por este grupo (Mapa 8). En el periodo 1956 a 2007, las formaciones dominadas por coníferas (en su mayor parte del género *Pinus*) avanzaron $\Delta +346.937$ hectáreas ($\Delta +78$ % respecto a 1956), alcanzando la cifra de 787.562 hectáreas, un 17,6 % de la superficie forestal, formadas en su mayor parte por matorral con coníferas (55,7 %) y arbolado denso de coníferas (38,4 %).

Mapa 8. Incremento de la superficie con coníferas (1956-2007)



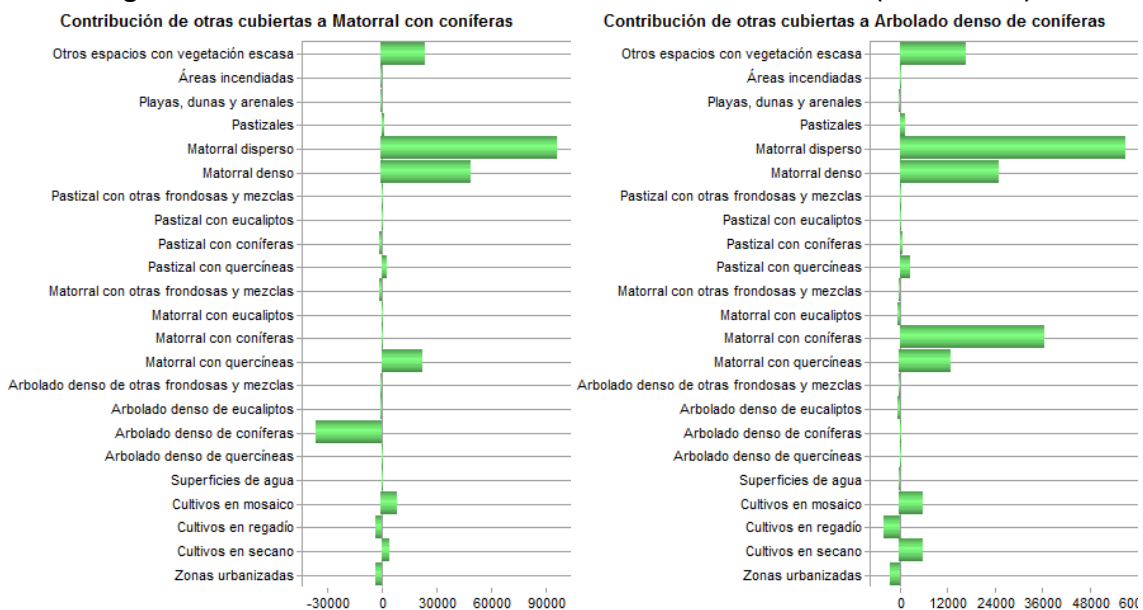
Fuente: Elaboración propia.

Tradicionalmente las coníferas se han encontrado distribuidas en medios montañosos o improductivos, a menudo producto de tareas de repoblación forestal. Históricamente las mayores masas se encontraban en las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas. La franja litoral de las provincias de Huelva y Cádiz experimentó diferentes repoblaciones entre los siglos XIX y XX. Sierra Bermeja y Sierra Almirajara, por la toxicidad del sustrato, peridotítico en la primera y dolomítico en la segunda, estaban pobladas con *Pinus Pinaster*. En la segunda mitad del siglo XX, continúa una estrategia reforestadora y se emplea el género *Pinus* masivamente en muy distintos ambientes: costeros y montañosos, áridos y húmedos. En unos casos para detener el avance de las dunas y en otros con fines hidrológico-forestales. Desde el punto de vista medioambiental, merece destacar la repoblación del singular *Abies pinsapo* en la Sierra de las Nieves. Hemos asistido a una sustitución inducida de los pastizales y matorrales hacia formaciones más densas. En efecto, grandes extensiones de bosque crecieron preferentemente en las sierras de las provincias orientales. Jaén es la provincia con la mayor extensión de coníferas, con 254.387 hectáreas, lo que representa un 38 % de su superficie forestal. En 50 años la provincia aumentó la presencia de masas de coníferas

en $\Delta +88.412$ hectáreas. Y este crecimiento no es el más llamativo, pues en Almería pasaron de 35.037 a 106.837 hectáreas, un aumento del $\Delta +204$ % respecto a 1956; y en Granada, pasaron de 81.687 a 157.900 hectáreas, un aumento del $\Delta +93$ %. Por su parte, en la provincia de Málaga asistimos a un aumento de $\Delta +66,7$ % respecto a 1956.

Los intercambios (Figura 9) que se han producido con las formaciones coníferas evidencian, más que una evolución natural hacia una mayor presencia del estrato arbóreo, una sustitución inducida de origen antrópico de los pastizales y matorrales hacia formaciones más densas.

Figura 9. Red de intercambios de otras clases con coníferas (1956-2007).



Fuente: Elaboración propia. Unidades en hectáreas.

Las zonas donde las coníferas han permanecido en el mismo lugar desde 1956 hasta 2007, se localizan fundamentalmente en las sierras de Cazorla, Segura y Las Villas, así como en otras sierras elevadas de las provincias orientales, aunque en este caso, son producto de tareas de reforestación llevadas a cabo con anterioridad a 1956. Asimismo, también destaca Sierra Bermeja, Sierra Almijara y Guájares y una franja paralela al litoral onubense, espacios en que el pinar ha dominado el paisaje en el periodo considerado. El mayor vínculo existente entre las superficies con pinar y los drivers considerados se produce con las pendientes ($VC=0,19$), asociación que ha aumentado en el periodo de estudio dos décimas, circunstancia que probablemente esté relacionada con que la mayor parte de las superficies reforestadas con coníferas han sido áreas montañosas con fuertes pendientes.

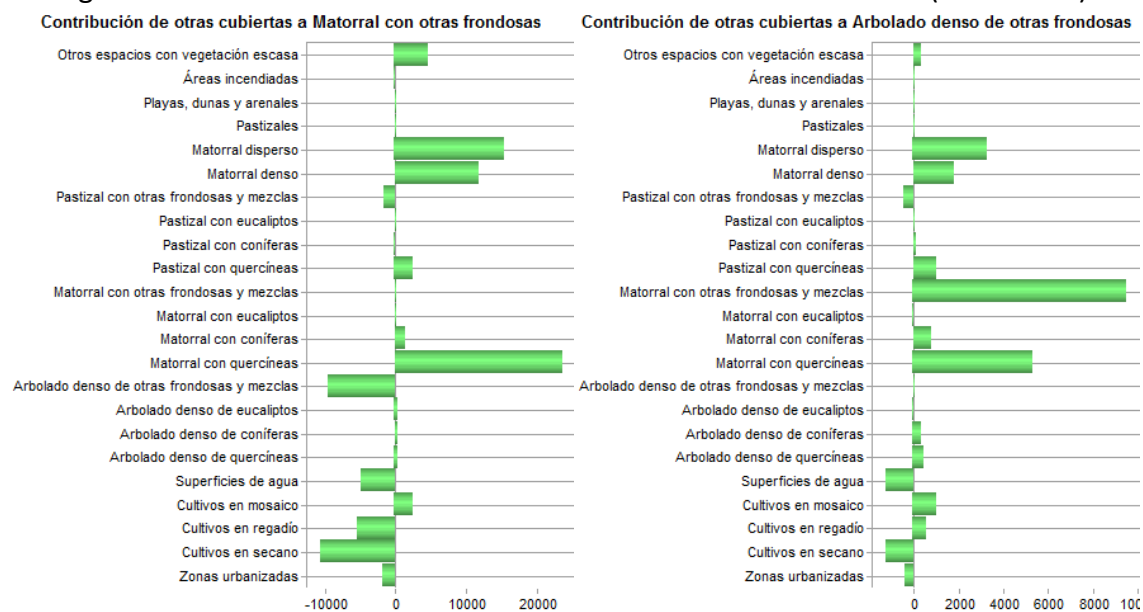
Con otras frondosas y mezclas, el MUCVA25 incluye algunas formaciones muy diversas que en Andalucía están constituidas mayoritariamente por vegetación de ribera,



castañares, robledales, etc. En 2007, las cubiertas representadas por otras frondosas ocupan 390.425 hectáreas, por lo que aumentaron un $\Delta +16,9\%$ ($\Delta +56.450$ has) y, el balance de intercambios con otras cubiertas, evidencia una clara evolución positiva en todos los casos hacia progresión del dosel arbóreo, producto en buena medida por la regeneración natural. Conjuntamente, más de 35.000 hectáreas de pastizales y matorrales evolucionaron hacia formaciones con frondosas y otras mezclas.

Las formaciones anteriormente dominadas por las mismas especies evolucionaron hacia una mejora del dosel, unas 33.623 hectáreas. Es posible que buena parte del incremento de superficies con otras frondosas se deba a una “sustitución” de estas por superficies donde sólo se registraban quercíneas. Así, más que una sustitución, podría tratarse de la aparición de otras frondosas dentro de formaciones donde anteriormente había quercíneas. En términos de registro cartográfico, esto se traduce en un cambio de la cobertura, si bien realmente estamos ante un proceso de enriquecimiento en biodiversidad de una cobertura preexistente, que en muchos casos se produce en superficies donde comparten espacio quercíneas y otras frondosas. Este fenómeno, que representa unas $\Delta +23.713$ hectáreas sobre antiguas masas de quercíneas, se ha producido de manera muy dispersa en todo el territorio, y también sobre formaciones herbáceas y arbustivas, lo cual sugiere de nuevo que estamos ante un proceso natural acaso inducido por un cambio en el manejo de la dehesa.

Figura 10. Red de intercambios de otras clases con otras frondosas (1956-2007).



Fuente: Elaboración propia. Unidades en hectáreas.

No encontramos ninguna asociación significativa entre los drivers considerados y la distribución de otras frondosas. De entrada, porque “otras frondosas” incluye un conjunto muy variado de géneros, con muy distintos requisitos ecológicos. Por ejemplo, cabría esperar una asociación entre vegetación de ribera y distancia a redes



de drenaje, especialmente en cursos de orden 2 y 3 en adelante, también porque estamos trabajando con un píxel de 250 metros; o, entre determinadas formaciones con óptimo en el piso supramediterráneo como robles o arces y la radiación solar o la altitud. Sin embargo, esta señal se pierde porque se incluyen, entre otras, especies muy ubiquestas como el acebuche. Así, la distribución de “otras frondosas” es muy dispersa en el territorio, exhibiendo un componente aleatorio producto de la mixtura. En Andalucía, los eucaliptos constituyen un género de especies introducido por el hombre con objeto de explotar su madera para la fabricación de celulosa, entre otros usos industriales.

En Andalucía, medran eucaliptos distribuidos a través de una superficie de 124.843 hectáreas. Se trata de masas muy jóvenes y asociadas a explotaciones forestales. Las grandes extensiones de eucaliptos se concentran en la provincia de Huelva. Sólo en la provincia onubense, la superficie de eucaliptos alcanza 105.350 hectáreas, lo que supone que el 84 % de la superficie de eucaliptales andaluces está en esta provincia. El crecimiento de este género ha sido muy importante (Mapa 9). Entre 1956 y 2007, la superficie de masas forestales con eucaliptos aumentó $\Delta +289\%$ ($\Delta +92.775$ has respecto a 1956) hasta alcanzar la cifra de 124.843 has, que como decíamos, en su mayor parte están concentradas en la provincia onubense. El grueso de las acreciones se ha producido a costa de matorrales, terrenos donde se proyectaron las principales explotaciones forestales. Sin embargo, la superficie con eucaliptos en 2007 es menor de lo que fue en la década de los ochenta (Márquez Fernández, 1985). En las últimas décadas se han llevado a cabo campañas para eliminar su presencia en muchas zonas, especialmente en aquellas de alto valor ecológico, caso de Doñana, un entorno caracterizado por un intenso debate entre conservacionismo y explotación de los recursos naturales (Rubio Recio, 1993).

En principio, según la V de Cramer, para el conjunto de la región, los drivers seleccionados no muestran una asociación mínimamente considerable con la distribución de las distintas coberturas de eucaliptos.

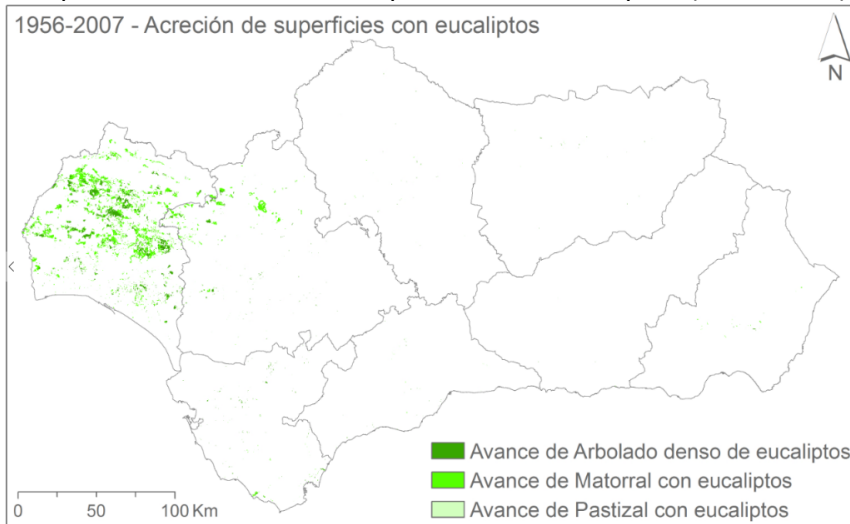
En los apartados anteriores hemos comentado cómo el incremento de los espacios arbolados se ha derivado especialmente a costa de formaciones anteriormente dominadas por matorral o herbáceas, que vieron decrecer su superficie en todas las provincias, especialmente en Huelva, Granada, Jaén o Almería.

La mayor parte de los intercambios entre otras cubiertas y eucaliptos (Figura 11) se ha producido a costa de matorrales densos y dispersos, por este orden, en terrenos donde se proyectaron las principales explotaciones forestales. En general, casi todos los intercambios se han dado en una dirección, desde la conversión de otras cubiertas hacia eucaliptales. Las plantaciones de eucaliptos se realizaron principalmente sobre



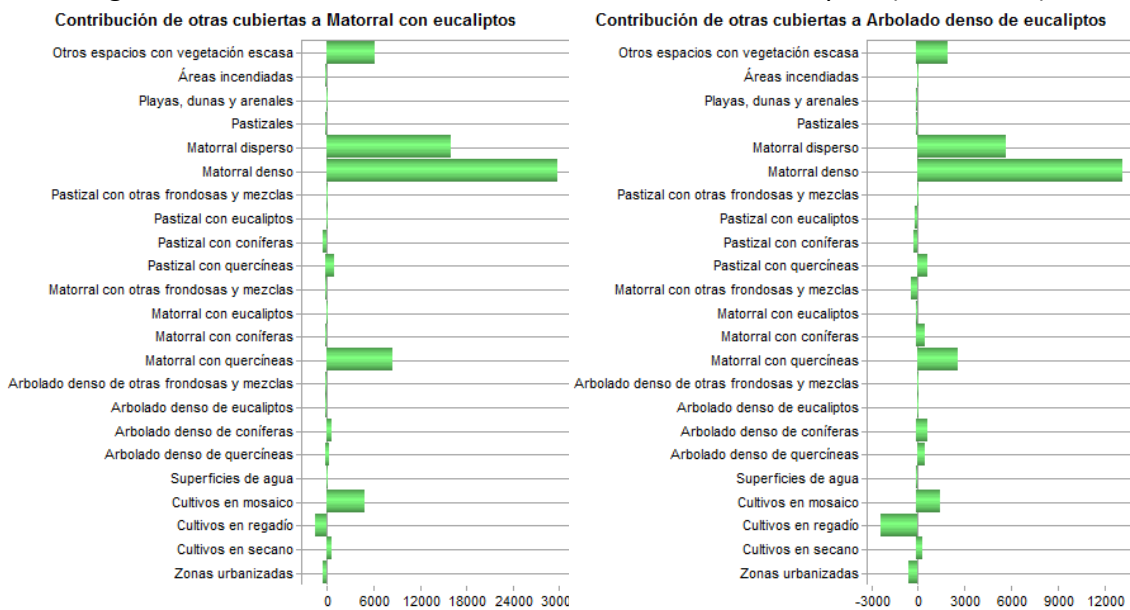
espacios sin cobertura arbórea, exceptuando algunos espacios adeshados con quercíneas. En efecto, $\Delta + 11.570$ hectáreas de dehesa se transformaron en eculiptos.

Mapa 9. Incremento de la superficie con eucaliptos (1956-2007)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Red de intercambios de otras clases con eucaliptos (1956-2007).



Fuente: Elaboración propia. Unidades en hectáreas.

Acerca de las formaciones vegetales no arboladas, En 2007, Almería es la provincia donde los matorrales y formaciones herbáceas ocupan una mayor extensión con diferencia, 282.275 hectáreas, ello representa el 49,5 % de la superficie forestal en la



provincia más árida de la región. Sin embargo, en 1956, y en el extremo opuesto de la misma región, en una zona mucho más húmeda, la provincia de Huelva, se llegaron a alcanzar las 290.087 hectáreas de matorrales y herbáceas. Ello puede plantear el debate sobre si estas formaciones responden más o menos a las condiciones ecológicas del medio o son el resultado de procesos donde la mano del hombre ha tenido un papel relevante en una u otra fase. El Mapa 10 ilustra la evolución de la superficie con matorral. En general, predomina la contracción de las superficies con matorral. Amplias extensiones con matorral denso y disperso se han transformado en otras cubiertas forestales, especialmente en la provincia de Huelva y en el conjunto de Sierra Morena. Por el contrario, se ha producido un aumento de los matorrales en puntos muy dispersos en el territorio andaluz. En muchos casos, esta circunstancia está relacionada con los incendios forestales, como ocurre en sierras de Almirajara, Guájares o Huétor.

Es en la provincia de Almería donde se concentran las superficies con matorral más persistentes en el tiempo y el espacio, un hecho que sí está más relacionado con la aridez del medio almeriense, a diferencia de lo que ocurría con las amplias extensiones de matorral existentes en Huelva en 1956.

Finalmente, comentaremos la evolución de dos espacios incluidos como usos forestales en el MUCVA25, aunque están caracterizados por la ausencia o escasez de vegetación, esto son, los arenales y espacios abiertos.

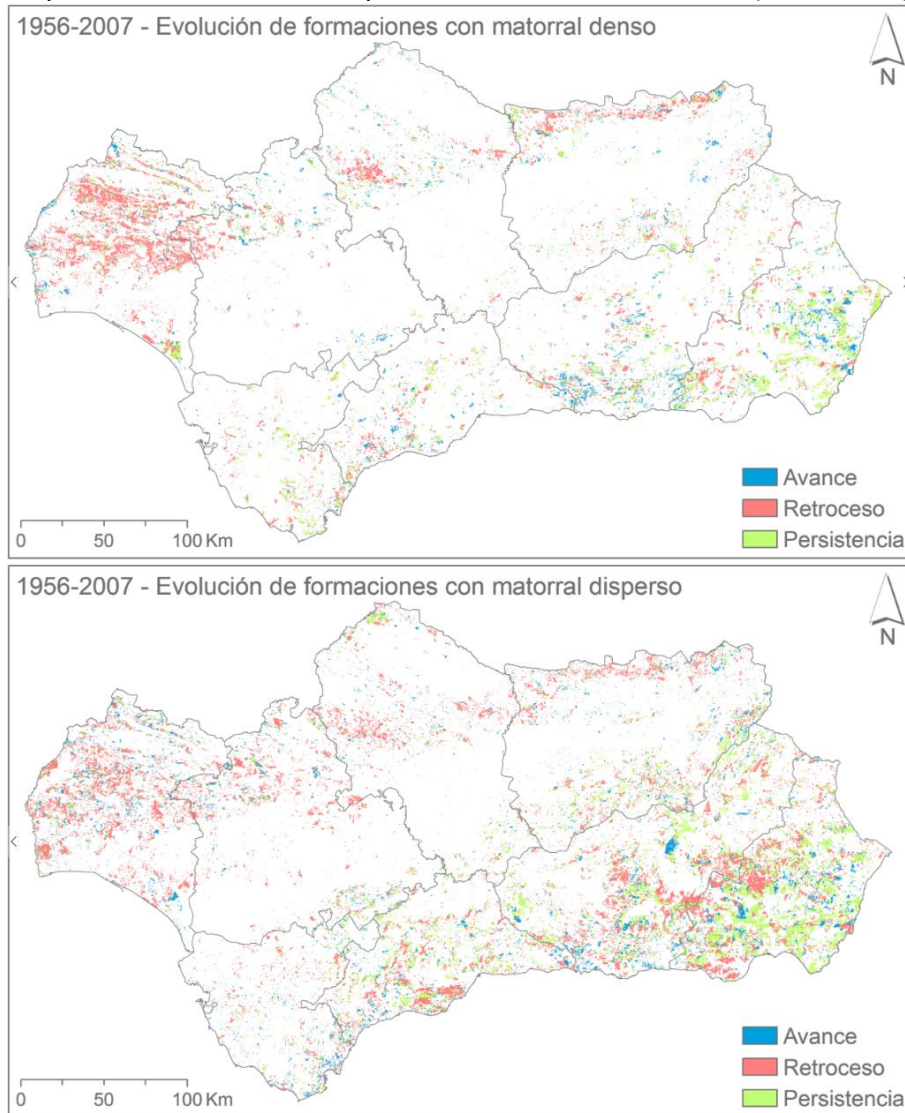
Los mayores arenales se encuentran en la provincia de Huelva, donde se alcanzan las 3.793 hectáreas y le sigue la provincia de Cádiz con 1.256 hectáreas. Ambas provincias representan el 77,4 % de los arenales andaluces. En general, hemos asistido a un descenso de las playas y arenales; particularmente llamativo es el caso de Málaga, donde se ha pasado de 943,75 a 518,75 hectáreas de playas, como consecuencia del voraz proceso urbanizador de la segunda mitad del siglo XX. En conjunto, se han perdido Δ -1.144 hectáreas de arenales a costa de zonas urbanizadas. También es destacable la pérdida de Δ -1.439 hectáreas de playas y arenales estabilizados bajo formaciones de matorral y coníferas.

Granada es la provincia donde la superficie con espacios abiertos con poca vegetación es mayor, con 148.700 hectáreas, que se reparten principalmente en sus altas serranías y altiplanicies, donde las condiciones climáticas son más extremas. Le sigue Almería con 132.125 hectáreas. En este apartado, Huelva destaca con sus 110.556 hectáreas de espacios abiertos con poca vegetación y es la provincia donde más han aumentado estos espacios, con Δ +39.050 hectáreas respecto a 1956, procedentes en su mayor parte de formaciones arbustivas y herbáceas. Concluyendo, los espacios abiertos con poca vegetación han avanzado en las provincias de Huelva y Cádiz, y se han reducido en las provincias de Sevilla, Córdoba y Jaén. Por su parte, las superficies



más persistentes con poca vegetación se encuentran en las altas cumbres de las sierras de Granada, Almería, Jaén y Málaga.

Mapa 10. Evolución de la superficie forestal con matorral (1956-2007).



Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Algo más de la mitad de la superficie de Andalucía está ocupada por espacios forestales: bosques, matorrales, pastizales o espacios abiertos improductivos (rocas, arenales, etc.), que se concentran fundamentalmente en los terrenos agrónicamente improductivos y los espacios montañosos. Estas cifras son relativamente semejantes a las que se dan en el conjunto del país.

Aunque se ha producido un mantenimiento general de la superficie con usos forestales, acaso con una ligera disminución en superficie debido a la urbanización; durante los últimos cincuenta años, destaca especialmente el aumento de la superficie forestal arbolada, un incremento coherente con los datos reportados por el segundo (IFN2) y tercer (IFN3) Inventario Forestal Nacional. En el periodo 1956-2007 Andalucía experimentó un aumento de la superficie arbórea en todos sus niveles de cobertura en detrimento de las formaciones arbustivas y herbáceas.

Las superficies forestales más extensas y estables son las dominadas por quercíneas, aunque con una reducción de la espesura de las masas. Los mayores incrementos se dieron en formaciones dominadas por coníferas, eucaliptos y bosques mixtos, en su mayor parte producto de las grandes campañas de reforestación llevadas a cabo durante la segunda mitad del siglo XX, aunque también progresaron los procesos de regeneración de las cubiertas vegetales, especialmente en bosques mixtos. Aunque se podría destacar la incidencia de procesos de regeneración o decaimiento forestal, por limitaciones de escala, MUCVA25, en principio (250 m/ píxel), no permite una interpretación detallada acerca de estos procesos en todas las cubiertas forestales.

El análisis de la importancia de las principales variables explicativas, según una primera aproximación basada en la V de Cramer, permitió constatar que la litología guarda una gran relación con la distribución general de los usos forestales, ello refuerza por qué han permanecido estas superficies relegadas a los espacios agrónomicamente menos productivos. A grandes rasgos, la litología se asocia a los usos forestales más por limitaciones hacia las actividades agrícolas que por efectos estrictamente favorecedores. Junto con la litología, también destacaron otros drivers como los gradientes de distancia, a las carreteras principales y núcleos de población, así como las pendientes.

El análisis de cambios basado de mapas de usos y coberturas vegetales ha permitido caracterizar la evolución de la superficie forestal en la Comunidad Autónoma de Andalucía. La metodología es útil para constatar las estadísticas obtenidas a través de los inventarios tradicionales, por lo que supone un método complementario para comparar los resultados obtenidos con otras fuentes. Asimismo, las herramientas de superposición de los Sistemas de Información Geográfica, sirven para analizar la distribución de los procesos de persistencia o cambios producidos dentro de una misma clase o los procesos de transferencia e intercambios producidos entre clases.

Esta metodología permite caracterizar en profundidad los cambios producidos en la ocupación del suelo en un periodo determinado, en este caso, la evolución de la superficie forestal en Andalucía entre 1956 y 2007. Posibilita además, a modo de



síntesis, contrastar nuestros resultados con los obtenidos por otros investigadores que han seguido otras fuentes y métodos de estudio e integrar una visión conjunta.

Consideramos que esta metodología, basada en el estudio de los cambios a través de mapas de ocupación y la documentación dichos cambios complementando los resultados a través de una completa revisión bibliográfica, supone un paso previo indispensable para acometer la modelización predictiva de los cambios de usos y coberturas vegetales con fundamento. En este sentido, es necesario avanzar a través del estudio de los cambios utilizando diferentes estadios intermedios (entre t1 y t2) para caracterizar en profundidad las causas de la evolución de las cubiertas forestales, confirmar o descartar la existencia de tendencias lineales, valorar la importancia relativa de los drivers en el tiempo e incorporar herramientas más complejas para analizar en profundidad los drivers, sus interacciones y sus efectos en la distribución y evolución de los usos y coberturas vegetales.

REFERENCIAS

Araque Jiménez, E. (2015): “Medio siglo de grandes incendios forestales en Andalucía (1961-2011)”, *Méditerranée*, 121, 41–52.

Benabent, M., (1986): “Ordenación del territorio, planificación y gestión de las áreas de montaña”, *Revista de Estudios Andaluces*, 6, 65–74.

Bermejo Pérez, D., Cáceres Clavero, F., Moreira Madueño, J.M. (2011): “Medio siglo de cambios en la evolución de usos de suelo de Andalucía (1956-2007)”, *Journal of Chemical Information and Modeling*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla. doi:10.1017/CBO9781107415324.004

Brasier, C., Robredo, F., Ferraz, J. (1993): “Evidence for Phytophthora-Cinnamomi Involvement in Iberian Oak Decline”. *Plant Pathology* 42, 140–145.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.1993.tb01482.x>

Cano García, G. (1983): “Unidad y diversidad de la geografía andaluza”, *Revista de Estudios Andaluces*, 1, 9–22.

Chuvieco, E. (2008): Teledetección ambiental. Ariel, Barcelona.

Cruz Villalón, J. (1983): “Transformaciones recientes en la agricultura andaluza”, *Revista de Estudios Andaluces*, 1, 69–84.

Di Gregorio, A., Jansen, L.J.M. (2000): Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual, FAO.



Eastman, J.R. (2015): *TerrSet: Geospatial Monitoring and Modeling Software*. Clark Labs, Clark University.

Eastman, J.R. (2009): *IDRISI Taiga guide to GIS and image processing*. Clark Labs, Clark University.

FAO, (1984): "Land, food and population", *Science and Public Policy*, 11, 227–239.

Gámez Navarro, J. (2004): "La forestación de tierras agrícolas en la provincia de Granada. Acciones dentro del programa de acompañamiento de la nueva PAC", *Revista de Estudios Andaluces*, 25, 95–124.

García de Cortázar, F., González Vesga, J.M., (1994). *Breve historia de España*. Alianza, Madrid.

García Dory, Á., Martínez-Vicente, J.S. (1988): *La Ganadería en España*. Alianza, Madrid.

Gómez Mendoza, J., López Ontiveros, A. (2001): Montes y caza, in: Ariel (Ed.), *Geografía de España*. Barcelona, pp. 405–422.

Gómez Mendoza, J., Mata Olmo, R. (2002): "Repoblación forestal y territorio (1940-1971). Marco doctrinal y estudio de la Sierra de los Filabres (Almería)". *Ería* 58, 129–155.

Gómez Moreno, M.L., (1989): "La montaña malagueña, estudio ambiental y evolución de su paisaje". Diputación Provincial de Málaga, Málaga.

González, R., Álvarez, A. (2004): "El Mapa Forestal de España, una obra secular (1868-1966) concluida por Luis Ceballos", *Ería*, 64-64, 285–318.

Gutiérrez-Hernández, Oliver; Senciales-González, J. M.; García, L. V. (2015): "Los incendios forestales en Andalucía: investigación exploratoria y modelos explicativos", *Flamma* 6, 144–148.

Justicia Segovia, A. (1988): *La Axarquía malagueña y la costa oriental*. Editorial Arguval, Málaga.

Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skånes, H., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T. a., Vogel, C., Xu, J.

Revista de Estudios Andaluces, vol. 33, núm. 1 (2016) pp. 111-148. e-ISSN: 2340-2776

<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2016.i33.06>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

(2001): "The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths", *Global Environmental Change*, 11, 261–269.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)

López Ontiveros, A. (2003): El territorio andaluz: su formación, delimitación e interpretación, en *Geografía de Andalucía*, in: *Geografía de Andalucía*. Ariel, Barcelona, p. 819.

Márquez Fernández, D. (1985): "Las repoblaciones de eucalipto y su impacto en la última década 1973-1983", *Revista de Estudios Andaluces*, 5, 135–142.

Ministerio de Medio Ambiente (2008): IFN3 Segundo Inventario Forestal Nacional (1997-2007). Madrid.

Ministerio de Medio Ambiente (1998): IFN2 Segundo Inventario Forestal Nacional (1986-1996). Madrid.

Molinero Herando, F., Morales Gil, A. (2001): Secanos y regadíos, in: *Geografía de España*. Ariel, Barcelona, p. 688.

Montoya Oliver, J.M., Mesón García, M.L. (2008): *La Seca: El Modelo explicativo global*. Instituto de Ecología Aplicada. Madrid.

Moreno Bueno, T. (2008): Breve crónica de un siglo de Catastro en España (1906--2002). *CT Catastro* 63, 31–60.

Moreira, J. M. (2006). "El sistema de información geográfica-ambiental de Andalucía. Del SINAMBA a la Red de Información Ambiental de Andalucía", *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* (6), 4-10.

Muro Morales, J.I., Urteaga, L., Nadal, F. (2002): La fotogrametría terrestre en España (1914-1958), *Investigaciones Geográficas*, 27, 151–172.
<http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2002.27.06>

Naranjo Ramírez, J. (2001): "Las estructuras agrarias andaluzas en el tránsito al siglo XXI", *Ería* 54, 95–124.

Plata, W., Gómez Delgado, M., Bosque Sendra, J. (2009): "Cambios de Usos del suelo y expansión urbana en la Comunidad de Madrid (1990-2000)", *Scripta Nova*, Nov. 1–36.

Pontius, R.G., Shusas, E., McEachern, M., (2004): "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", *Agriculture, Ecosystems &*



Environment, 101, 251–268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>

Rediam, (2011): Guía Técnica SIOSE Andalucía 2011. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

Rees, W.G. (2008): “Comparing the spatial content of thematic maps”, *International Journal of Remote Sensing*, 29, 3833–3844.
<http://dx.doi.org/10.1080/01431160701852088>

Rubio Recio, J. (1993): “Doñana y su entorno: conservación y explotación”, *Revista de Estudios Andaluces* 19, 53–66.

Sánchez, M.E., Caetano, P., Ferraz, J., Trapero, A. (2002): “Phytophthora disease of *Quercus ilex* in south-western Spain”, *Forest Pathology*, 32, 5–18.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0329.2002.00261.x>

Senciales-González, J. M. (1999): Redes Fluviales. Metodología de análisis. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga. Málaga.

Silva Pérez, R., (1995): “Las acciones forestales en el seno de la PAC: consecuencias para Andalucía del programa de reforestación”, *Revista de Estudios Andaluces*, 21, 85–104.

Silva Pérez, R. (2010): “La dehesa vista como paisaje cultural. Fisonomías, funcionalidades y dinámicas históricas”, *Ería*, 82, 143–157.

Urbietta, I.R., Zavala, M. a., Marañón, T., (2008): “Human and non-human determinants of forest composition in southern Spain: Evidence of shifts towards cork oak dominance as a result of management over the past century”, *Journal of Biogeography*, 35, 1688–1700. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01914.x>

Valcárcel Sanz, N. (2012): Cartografía de ocupación del suelo en España. Proyecto SIOSE. Centro Nacional de Información Geográfica, Madrid.

Valdés, C., Gil Sánchez, L. (1998): La transformación histórica del paisaje forestal en España, in: Ambiente, M. de M. (Ed.), Segundo Inventario Forestal Nacional. Madrid, pp. 11–104.

Veldkamp, A., Lambin, E. (2001): “Predicting land-use change”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85, 1–6. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00199-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2)

Revista de Estudios Andaluces, vol. 33, núm. 1 (2016) pp. 111-148. e-ISSN: 2340-2776
<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2016.i33.06>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J., Melillo, J.M. (1997): Human domination of Earth's ecosystems. *Science* (80), 277, 494–499.
<http://dx.doi.org/10.1126/science.277.5325.494>

