



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-084

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

El uso del Inventario Forestal Nacional para la elaboración de modelos dinámicos de combustibles de superficie en la Comunidad de Madrid

MADRIGAL OLMO, J.^{1,2}, GUIJARRO GUZMÁN, M.^{1,2}, HERNANDO LARA, C.^{1,2}, MONTES PITA, F.^{1,2}

¹ INIA, Centro de Investigación Forestal, Dpto. Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales.

² iuFOR, Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible uVA-INIA

Resumen

Con objeto de elaborar modelos de combustible de superficie, se llevó a cabo un análisis espacio-temporal de la red de parcelas del Inventario Forestal Nacional (IFN) en el Sistema Central de la Comunidad de Madrid. Se extrajo la información de cobertura y altura de vegetación bajo copas (parcelas de 5 m de radio) y las características del arbolado (parcelas de 15 m de radio). Los datos de estructura de la vegetación se clasificaron de manera supervisada para tipificar los modelos de combustible BEHAVE en cada parcela. Se estimaron los datos de biomasa con los modelos alométricos disponibles para las agrupaciones de vegetación presentes. Con dichos datos se realizó una clasificación basada en árboles de decisión y algoritmo K-medias para particularizar y asignar los modelos NFFL estándar a la zona estudiada. Para generar cartografía con el procesado descrito y usando la malla de muestreo del IFN, se efectuó un krigeado universal de las variables de salida: altura y cobertura de matorral, biomasa y modelos de combustible de superficie. La cartografía de salida utilizando la metodología propuesta permite una precisión espacial razonable y describe temporalmente los cambios en los modelos de combustible, siendo por tanto un punto de partida para establecer modelos de combustible dinámicos.

Palabras clave

Árboles de clasificación, clúster k-medias, incendios forestales, krigeado, modelos espaciales

1. Introducción

La elaboración de modelos y cartografía de combustible es el punto de partida para la planificación de la prevención y extinción de incendios forestales (VÉLEZ 2009). La integración del fuego en las estrategias de gestión y restauración de los ecosistemas (BIROT, 2009) en la nueva visión de coexistir con los incendios forestales en un contexto de cambio climático (MORITZ et al. 2014) hace también imprescindible disponer de información no sólo espacial, sino del dinamismo de nuestras estructuras vegetales que propagarán futuros incendios.

En los últimos años se vienen proponiendo nuevos modelos de combustibles específicos en España para adaptar los modelos estándar NFFL propuestos por el USDA Forest Service. Así por ejemplo se han publicado los modelos UCO40 (RODRÍGUEZ SILVA Y MOLINA 2010) que adaptan los modelos de SCOTT & BURGAN (2005) a las masas forestales de Andalucía. Con una metodología similar se han propuesto nuevos modelos en la provincia de Valencia (QUÍLEZ Y CHINCHILLA 2012). Más recientemente (2016) se han elaborado nuevos modelos de combustible en la Comunidad de Madrid desarrollados por la empresa Meteogrid y en Castilla-La Mancha desarrollados por las empresas Tecnosylva y Föra (ambos no disponibles en abierto). En Galicia, ARELLANO et al. (2016) han presentado por primera vez modelos de combustible que incluyen la estructura simultánea de vegetación de superficie y copas de los árboles. En todos los casos los modelos ofrecen una “imagen” fija de la estructura de los combustibles basada en el análisis de los datos, claves visuales y la cartografía de partida. Por tanto siempre queda la asignatura pendiente de la actualización de dichos

datos para poder ofrecer dinamismo al modelo que permita estimar cambios espacio-temporales. MARINO et al. (2015) han propuesto una nueva metodología para obtener modelos de combustible en Canarias que usa imágenes satelitales que pueden ser actualizadas, abriendo la puerta a la obtención de mapas dinámicos regionales a medio plazo.

El Inventario Forestal Nacional (IFN) ofrece entre sus productos el mapa de modelos de combustibles de superficie de acuerdo con la clasificación clásica de 13 modelos NFFL del USDA Forest Service (ANDERSON 1982). Esta clasificación establece 4 grupos de combustible (pastos, matorrales, hojarasca bajo arbolado y restos de cortas) a su vez divididos por criterios de altura de la vegetación y biomasa disponible. El Área de Defensa contra Incendios Forestales del antiguo ICONA (actualmente perteneciente al Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, MAPAMA) elaboró una clave fotográfica para las diferentes zonas de España (MAPA 1990) que ha sido la base para el trabajo de los servicios de Extinción y Prevención de Incendios desde los años 1990s y fue la base con la que los equipos de trabajo del IFN elaboraron la cartografía de combustibles con un trabajo de asignación de modelos durante los recorridos del inventario. Sin embargo esta metodología no utilizaba el dato más objetivo del proceso que era la estimación de altura y cobertura de matorral de la parcela del IFN. El IFN, diseñado inicialmente para estimar las existencias de madera y su distribución por especies, superficies y clases diamétricas a nivel de provincia (ALBERDI 2016), constituye una base de datos espacio-temporal con una gran cantidad de información acerca de la estructura forestal que permite analizar diferentes aspectos de la dinámica forestal (HERNÁNDEZ et al. 2014a, MORENO-FERNÁNDEZ et al. 2016). Sin embargo los datos de dinámica de matorral han sido poco utilizados. En los últimos años se están obteniendo nuevos modelos para la estimación de biomasa de matorral a partir de la altura y la cobertura de la vegetación (PASALODOS-TATO et al. 2015). Desde el punto de vista de la obtención de modelos de combustible de superficie dinámicos parece prioritaria la necesidad de explotar estos datos. Las técnicas geoestadísticas permiten interpolar las variables estimadas a nivel de parcela a partir de los datos del IFN incorporando información disponible con una mayor resolución espacio-temporal (HERNÁNDEZ et al. 2014b).

2. Objetivos

El objetivo del presente estudio es elaborar cartografía de modelos de combustible en la Comunidad de Madrid basada en los datos de altura y cobertura de matorral de las parcelas del Inventario Forestal Nacional como base de potenciales mapas dinámicos de combustible de superficie.

3. Metodología

Área de estudio y bases de datos

Como área de trabajo se seleccionó toda la superficie forestal de la Comunidad de Madrid perteneciente al Sistema Central. Las capas de información y bases de datos seleccionadas para elaborar el estudio fueron el Mapa Forestal de España 1/50.000 y 1/25.000 (MFE) y Corine Land Cover (CLC) y el filtro de las parcelas del 2º, 3º y 4º Inventario Forestal Nacional (IFN) para el área de estudio (N=1979, N=1528, N=1005 respectivamente).

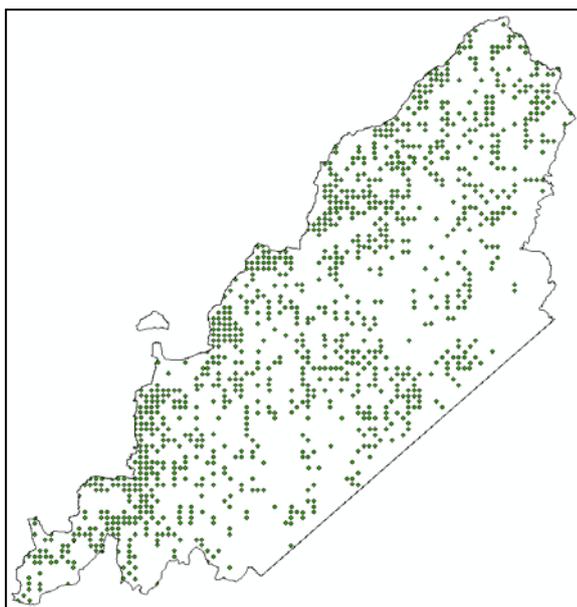


Figura 1. Red de parcelas IFN pertenecientes al Sistema Central de la Comunidad de Madrid

Obtención de mapas de matorral

Cada parcela del IFN dispone de datos de altura y cobertura de matorral por especie correspondiente a una parcela de 5 m de radio y la cobertura total estimada a nivel de parcela. Como altura media se consideró la altura media ponderada por la cobertura de cada especie. Con el objeto de establecer un criterio fijo para hallar la fracción de cabida cubierta total de las formaciones de matorral presentes, se utilizó el criterio establecido por ALBERDI (2016) que considera que la fracción de cabida cubierta de matorral no suma más que la cabida cubierta total de la parcela. Con ello se evitan sobreestimaciones generadas por el solape de coberturas de cada especie en la parcela de 5 m. Este método se ha contrastado en las parcelas de biodiversidad del MAPAMA coincidentes con el IFN y de las que se tienen datos más detallados ofreciendo buenas aproximaciones (ALBERDI 2016).

Con los datos de altura y cobertura de matorral por parcela se aplicó un krigado universal en base a las mallas de muestreo de 1 km² para los diferentes inventarios correspondientes a los años 1990 (N=1979), 2000 (N=1528) y 2012 (N=1005). El krigado universal integra en la interpolación de la altura o la cobertura la autocorrelación espacial que caracteriza la distribución de la vegetación así como variables auxiliares que explican parte de la variación de la altura o la cobertura mediante una superficie de tendencia (MONTES & LEDO et al. 2010).

Se asignó a cada parcela el modelo de combustible de acuerdo a su estructura (altura y cobertura de vegetación y fracción de cabida cubierta arbolada) con los criterios descritos en la clave fotográfica del ICONA (MAPA 1990). Mediante el mapa resultante del krigado y el apoyo de las teselas del MFE y CLC se elaboró un mapa de modelos de combustible para cada fecha de inventario. Se utilizó el programa GEOSTAT ® desarrollado en base a los resultados de MONTES & LEDO (2010)

Obtención de modelos de combustible

Los modelos de combustible estándar se obtienen diferenciando entre los 4 grandes grupos de combustible dominantes (herbáceas, matorral, hojarasca bajo arbolado y restos de corta) así como con la altura de vegetación y biomasa estimada (MAPA 1990). Con los datos de altura y de cobertura por parcela en cada inventario se obtuvieron estimaciones de la biomasa de matorral por parcela

usando los modelos propuestos por Pasalodos-Tato et al. (2015). La asignación de modelos hecha con una reclasificación de teselas se validó mediante un árbol automático de clasificación (ver a continuación el procedimiento). Posteriormente se decidió repetir el proceso con un algoritmo no supervisado k-medias para generar modelos específicos en la Comunidad de Madrid basados en los datos del IFN. Se utilizó el paquete estadístico STATISTICA 10 ®

- Árboles de clasificación supervisada

Los árboles de clasificación se utilizan para predecir la pertenencia de casos u objetos de una variable dependiente categórica en una o más variables predictoras. El árbol de clasificación es una de las principales técnicas utilizadas en el denominado análisis exploratorio de datos o datamining. Es un proceso de toma de decisiones utilizando como patrón un árbol dicotómico que proporciona un método eficiente para la clasificación de un conjunto de datos y se puede aplicar a una amplia variedad de problemas. Se prestan fácilmente a la salida de forma gráfica, ayudando a que sean más fáciles de interpretar que la interpretación estrictamente numérica. Es especialmente eficaz en el uso de bases de datos georreferenciadas ya que ayuda a validar la clasificación supervisada de capas de información geográfica.

El objetivo de los árboles de clasificación es predecir o explicar las respuestas en una variable dependiente categórica y como técnica exploratoria los árboles de clasificación presentan, en opinión de muchos investigadores, grandes ventajas (BARRIO-ANTA et al. 2012): (1) No están basados en distribuciones de probabilidad (2) Permiten formar grupos que maximicen la variable respuesta (3) la clasificación en categorías es fácil de interpretar, y (4) La técnica garantiza que los grupos siempre tendrán sentido estadístico.

De entre los diferentes métodos y algoritmos disponibles, en este trabajo se ha usado el método de las divisiones univariantes de discriminación (Discriminant-based univariate splits). Permite determinar el número óptimo de divisiones y nodos terminales y qué variables predictoras son las mejores para completar el árbol de decisión. Para cada nodo terminal la significación de las variables y las categorías correspondientes al nodo se obtiene mediante el estadístico χ^2 . Para la determinación de los puntos de corte de las divisiones (splits) que determina la regla de decisión se usa el algoritmo K-medias. El algoritmo genera unas “superclases” que se van validando iterativamente hasta obtener el valor óptimo de nodos, los splits y las variables predictoras más significativas (BREIMAN et al. 1984).

En el presente estudio se han utilizado los árboles de decisión con dos objetivos: (1) Validar y particularizar para la Comunidad de Madrid la clasificación realizada de los modelos de combustible basada en los datos de las parcelas del Inventario Forestal Nacional (alturas y coberturas de vegetación y fracción de cabida cubierta arbolada) (2) Proponer un nuevo árbol de toma de decisión basado en la biomasa estimada de matorral y la especie arbórea dominante en cada parcela del IFN para poder proponer subclases de los modelos de combustibles estándar o, en su caso, que definan modelos de combustible específicos para la Comunidad de Madrid

El árbol de decisión para validar la clasificación estándar se generó con los datos del IFN3 e IFN4 (N=2946) y se validó con los datos del IFN2 mediante validación cruzada (N=1797). El árbol de decisión generado usando la especie arbórea principal y la biomasa estimada de matorral se generó con el IFN4 (N=1005) y se validó con el IFN3 (N=1528).

- Clústers de clasificación no supervisada

Con el objeto de ofrecer más elementos en la toma de decisión y en los criterios de clasificación de los modelos de combustible, se decidió explorar los resultados de una clasificación no supervisada mediante el algoritmo K-medias (BREIMAN et al. 1984). Este algoritmo asigna un número K de

centroides (clústers) para representar un número total N de datos ($K < N$). El algoritmo consiste en un proceso iterativo que comienza por un número inicial de puntos elegidos al azar a partir del cual los puntos son asignados a cada clúster K , de tal forma que el promedio del clúster representa a los puntos asignados a dicho clúster.

Se generaron dos clústers siguiendo el criterio establecido en los árboles de decisión supervisados:

(1) Un primer clúster K -medias usando el mismo número de categorías (6) y variables usadas en la clasificación estándar (FCC arbolado y matorral, Altura de matorral). Se incluyó también la especie dominante de arbolado como variable categórica

(2) Un segundo clúster K -medias usando la biomasa estimada además de las variables usadas en (1).

Debido a la inclusión de la variable categórica de la especie arbolada dominante el método exige un mayor número de datos para clasificar y por tanto no se pudo extraer una muestra de validación. Por tanto se utilizaron todas las parcelas del IFN2, IFN3, IFN4 ($N=4743$) para el clúster (1) y las parcelas del IFN3, IFN4 ($N=2800$) para realizar la clasificación del clúster (2).

4. Resultados

Dinámica del matorral en la Comunidad de Madrid

La aplicación de la metodología propuesta usando krigeado universal sobre la red de parcelas del IFN ofrece una estimación de la cobertura y altura de matorral en cada fecha de inventario (Figura 2). Para comprobar los cambios (aumento o disminución de cobertura y altura de matorral) entre los años 1990 (IFN 2) y 2012 (IFN 4) se han comparado los mapas obteniendo mapas de diferencia entre inventarios (Figura 3). Los resultados muestran un importante incremento de la fracción de cabida cubierta arbolada y de matorral entre 1990 y 2012 que se debe fundamentalmente al incremento producido entre el IFN2 y el IFN3 (1990-2000), siendo menos intenso en el último decenio de seguimiento (2000-2012). Por el contrario la altura de matorral no ha sufrido cambios tan espectaculares observándose aumentos de altura sólo en zonas desarboladas o con baja fracción de cabida cubierta y menores alturas en áreas donde ha aumentado en más del 25% la fracción de cabida cubierta arbolada.

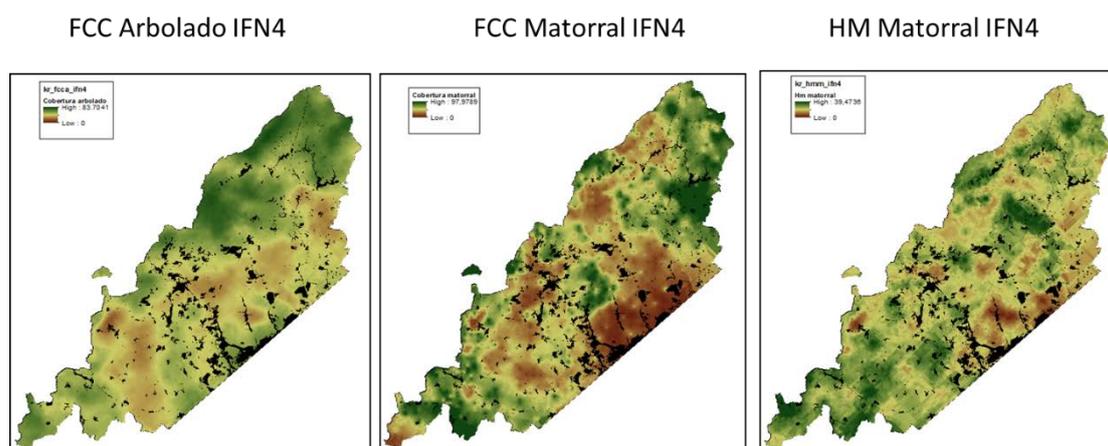


Figura 2. Fracción de cabida cubierta de arbolado, cobertura de matorral y altura de matorral según la interpolación realizada mediante krigeado universal de las 1005 parcelas del IFN4 (año 2012)

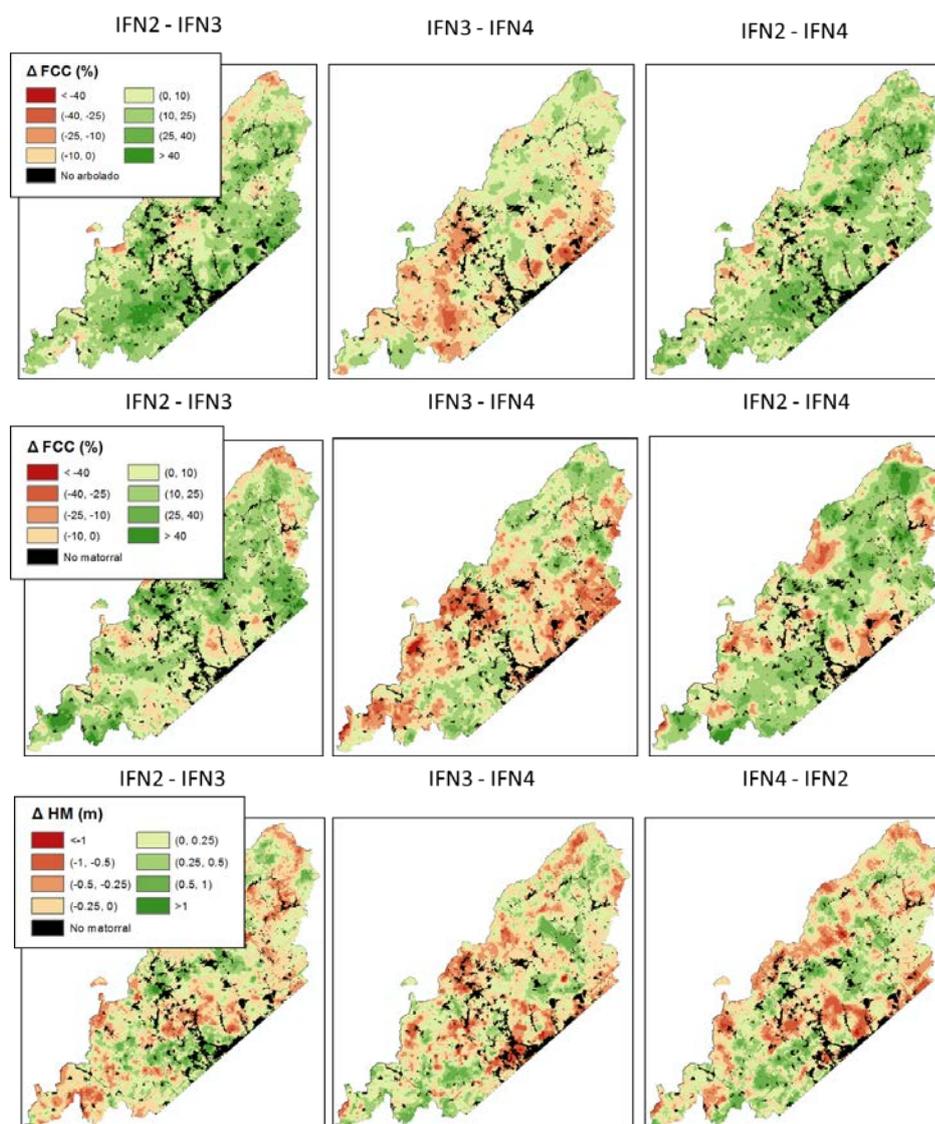


Figura 3. Diferencias obtenidas entre inventarios para (a) Fracción de cabida cubierta arbolada (b) Cobertura de matorral (c) Altura de matorral. Tonos rojizos implican disminución del valor, tonos verdosos aumentos del valor y tonos amarillentos mantenimiento del valor entre inventarios.

Dinámica de los modelos de combustible

La asignación de modelos estándar según la estructura de vegetación obtenida de las parcelas del IFN y las capas del MFE y CLC ofrece una cartografía dinámica de combustibles del área de estudio (Figura 4). Se obtuvieron 8 de los 13 modelos estándar aplicados a la Comunidad de Madrid. En los datos de parcela permitieron obtener 6 modelos estándar (2, 4, 5, 6, 7, 8, 9) ya que en ninguna de las fechas del IFN se inventariaron parcelas con fuerte decaimiento de árboles muertos (modelo 10) ni restos de operaciones selvícolas (modelos 11, 12, 13). Las parcelas del IFN pertenecen a masas con FCC > 10% con lo que los modelos de pastos y matorral desarbolado se obtuvieron asignando las teselas del MFE y CLC (modelos 1, 3, 4, 5, 6, 7). Al igual que ocurría con la fracción de cabida cubierta arbolada y de matorral el cambio más intenso se observa entre 1990 y 2000. La cartografía dinámica muestra un fuerte incremento de los modelos 6 y 7 bajo arbolado, esto es, ha aumentado la superficie de modelos con cobertura de matorral mayor del 60% con altura superior a 0,6 m bajo arbolado de fracción de cabida cubierta mayor del 50%. Los modelos 7 (más de

1,6 m de altura de matorral) implican además mayor peligro de continuidad vertical con el consiguiente riesgo de fuegos potenciales de copa. También se observan muchas transformaciones de modelos 2 bajo arbolado (pastos) y modelos poco peligrosos de hojarasca (8 y 9) a modelos de matorral bajo arbolado (5, 6 y 7). En las áreas de menor cota y en las cumbres con menor FCC arbolada se observan cambios de áreas de pastos bajo arbolado (modelos 2) a matorral (5, 6, 7).

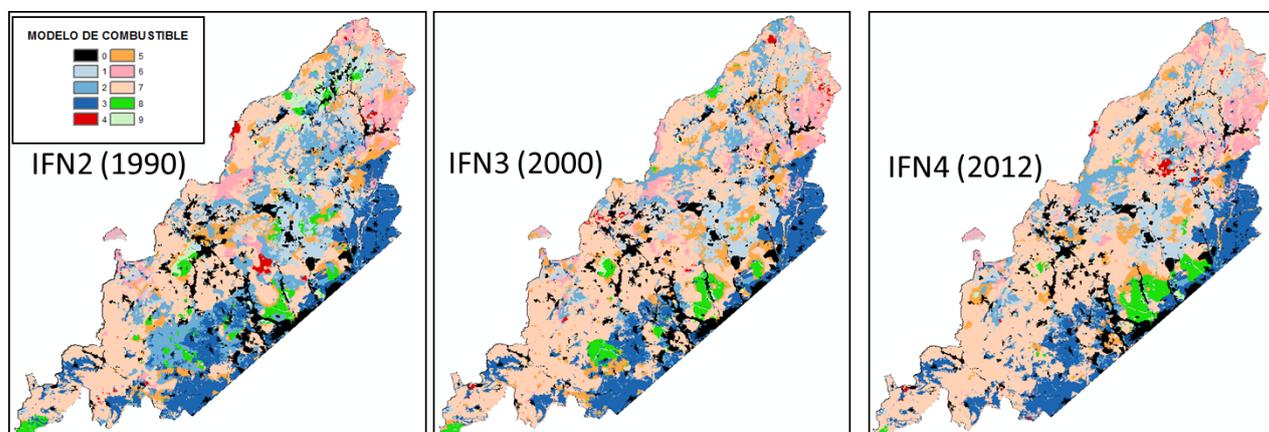


Figura 4. Cartografía dinámica de combustibles en el Sistema Central de la Comunidad de Madrid basada en datos de las parcelas del IFN.

Validación de modelos mediante árboles de decisión

El árbol de decisión generado para validar la asignación de modelos de combustible (Figura 5) clasifica correctamente el 96% de los casos. Los modelos 2 y 4 los clasifica con un punto de corte del 22,5% de fracción de cabida cubierta por debajo de la cual si la cobertura del matorral es menor del 44% se clasificaría como un modelo 2 (vector de propagación dominado por el pasto) y si es mayor del 44% de clasificaría como modelo 4 (vector de propagación dominado por matorral). En este caso la menor FCC arbolada favorece el crecimiento del matorral generando modelos 4 de alto peligro. La cabida cubierta de matorral inferior al 10,5% diferenciaría entre modelos de matorral bajo arbolado y hojarasca bajo arbolado. Los modelos 8 corresponden con los *Quercus* y los modelos 9 con el resto (*Pinus* spp. y Cupresáceas). El punto de corte entre los modelos 5 y 7 el árbol los sitúa en los 61 cm. El árbol de decisión clasifica el modelo 6 como 4 (Figura 5b), con lo que el clúster clasifica como modelo 4 a 51 parcelas que según la clave de modelos estándar sería un modelo 6.

Generación de modelos de combustible particularizados para la Comunidad de Madrid basados en el IFN

La inclusión de la estimación de la biomasa de matorral por parcela como variable de clasificación en un árbol de decisión similar al caso anterior, ofrece como resultado una estructura y porcentaje de acierto similar con la particularidad que la diferencia entre modelos 5 y 7 lo establece en un función de la biomasa estimada con un punto de corte de 4,6 ton/ha. Por tanto los modelos de matorral bajo arbolado de la Comunidad de Madrid (mayor del 22,5% de FCC arbolada) se podrían diferenciar ente aquellos con matorral bajo de menos de 66 cm de altura que presentan 4,6 ton/ha y aquellos de matorral alto de más de 66 cm que presentan más de 4,6 ton/ha. Se generó un clúster de 6 categorías (las mismas que generaba el árbol de decisión) usando el algoritmo K-medias (Figura 6).

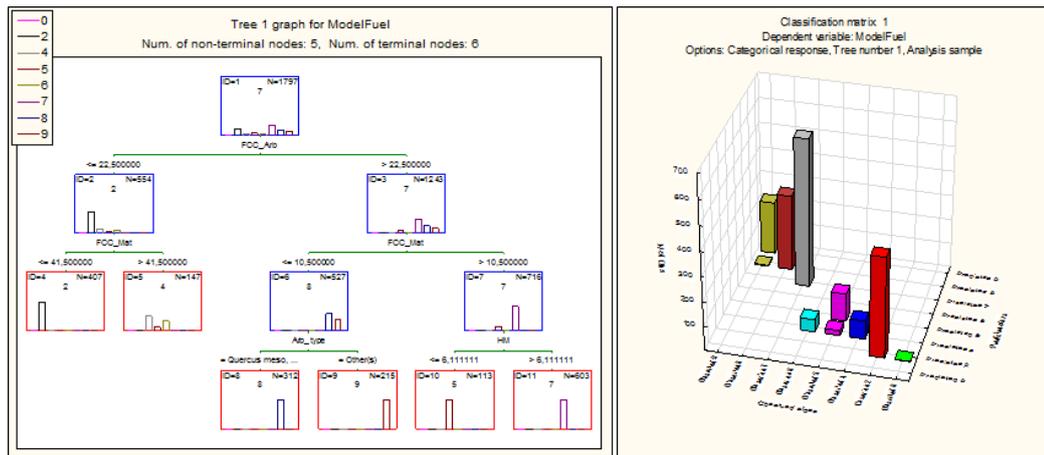


Figura 5. Árbol de decisión supervisado generado para clasificar los modelos de combustible de acuerdo con los datos de Fracción de cabida cubierta arbolada, Cobertura de matorral, altura de matorral y grandes tipologías de especie principal arbolada (*Pinus ssp*, *Quercus mesomediterráneos*, *Quercus nemoromediterráneos*, Ribera, Cupresaceas, Otras) obtenidos del IFN. El modelo se generó con los datos del IFN 3 e IFN4 (N=2946) y se validó con los datos del IFN2 (N= 1797)

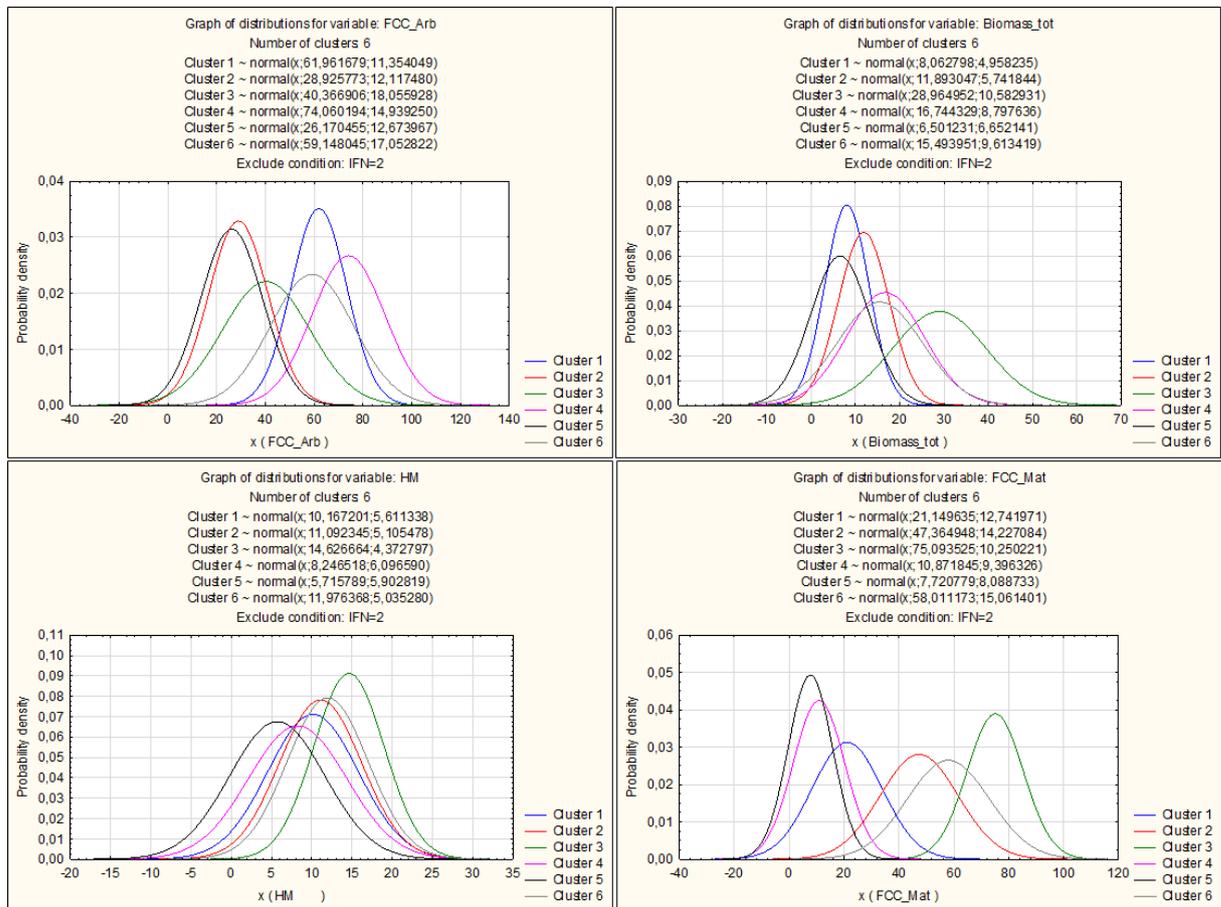


Figura 6. Resultados de los clúster generados por el algoritmo K-medias para las principales variables de clasificación: FCC de especie principal arbolada (FCC_arb) y biomasa (Biomass_tot), altura (HM) y cabida cubierta de matorral (FCC_Mat).

Los resultados de los modelos sugeridos por los clústers (se nombran con prefijo k- para no confundir con modelos estándar) sugieren 10 nuevos modelos de combustible de superficie para la comunidad de Madrid que se pueden resumir como sigue:

- Modelo k1: $F_{carb} > 60\%$ $F_{cmat} < 50\%$ $H_m > 1,2$ m Biomasa < 15 t/ha
- Modelo k2: $F_{carb} < 80\%$ $F_{cmat} < 50\%$ $H_m < 1,2$ m Biomasa $> 12-25$ t/ha
- Modelo k3: $F_{carb} < 40\%$ $F_{cmat} > 40\%$ $H_m > 1,2$ m Biomasa (3 grupos)
k31: < 5 t/ha,
k32: 5-20 t/ha
k33: 20-30 t/ha
- Modelo k4: $F_{carb} > 60\%$ $F_{cmat} < 40\%$ $H_m < 1,2$ m Biomasa (2 grupos)
k41: < 10 t/ha
k42: 10-25 t/ha
- Modelo k5: $F_{carb} < 40\%$ $F_{cmat} < 40\%$ Biomasa < 15 t/ha
- Modelo k6: $F_{carb} > 40\%$ $F_{cmat} > 40\%$ Biomasa (2 grupos)
k61: < 20 t/ha
k62: 20-40 t/ha

5. Discusión

Se ha presentado una tentativa para evaluar la biomasa de matorral usando datos del IFN en la Comunidad de Madrid mediante el uso de modelos lineales (PASALODOS-TATO et al. 2015). Los modelos utilizados se desarrollaron en parcelas del proyecto RECAMAN en Andalucía y por tanto la homologación de las formaciones es discutible. En cualquier caso parece prioritario establecer modelos sencillos similares a los propuestos por PASALODOS-TATO et al. (2015) en las diferentes biorregiones peninsulares ya que estos datos no sólo mejorarían la caracterización de los modelos de combustible en base al IFN sino que permitirían la estimación más adecuada de la biomasa de matorral en los estudios basados en tecnología LiDAR. Los modelos disponibles para estimación de biomasa de arbolado en España (RUIZ-PEINADO et al. 2011) están siendo utilizados con estos objetivos aplicados a la evaluación de modelos de combustible de copas (e.g. GONZÁLEZ-OLABARRÍA et al. 2012, MADRIGAL et al. 2016).

Los modelos de clasificación supervisada y no supervisada ofrecen una potente herramienta para validar y proponer modelos de combustible basados en datos del IFN particularizados a cada región, en este caso al Sistema Central de la Comunidad de Madrid. Los modelos de árbol de decisión ratifican los criterios establecidos en los modelos estándar (MAPA 1990) aunque simplifican alguna de las tomas de decisiones como la diferenciación entre los modelos 4 y 6. Por tanto el árbol de decisión sería más conservador que la asignación directa del investigador y tendería a clasificar una parte importante del territorio estudiado (Figura 4) como modelo 4 que es el más peligroso desde el punto de vista de la propagación del fuego. En cualquier caso se ratifica la importancia del incremento de los modelos 7 en la Comunidad de Madrid (matorral bajo arbolado) caracterizados por masas arboladas de más del 22,5% de fracción de cabida cubierta arbolada, matorral de más de 66 cm de altura media y con más de 4,6 ton /ha de biomasa disponible (figura 5). El incremento de este tipo de modelos fue muy importante entre 1990-2000 y se ha estabilizado entre 2000 y 2012. La ausencia de gestión y la disminución del pastoreo en la región mostraría el aumento de la cabida cubierta arbórea (Figura 3) que ha venido acompañada de un crecimiento de matorral (en cobertura más que en altura) y un paso de modelos de pastos y hojarasca bajo arbolado (modelos 2, 8 y 9) hacia modelos de matorral bajo arbolado (modelos 4 y sobre todo modelos 7), mostrando el dinamismo desde modelos poco peligrosos bajo copas o modelos de alto peligro incluso de subida a copas.

El hecho de que los puntos de corte de los árboles de decisión se basen en la fracción de cabida cubierta arbórea y de matorral abre la posibilidad a reclasificar estos modelos con los criterios

de SCOTT & BURGAN (2005), tal como se ha propuesto en la clasificación UCO40 para Andalucía (RODRÍGUEZ-SILVA Y MOLINA 2012). Así por ejemplo y según el árbol de decisión propuesto (Figura 5), los modelos 2 podrían ser en realidad modelos de pasto-matorral (PM según UCO40) y algunos de las parcelas clasificadas como modelos 5 y 7 con más del 10,5% de cobertura de matorral podrían tener submodelos de hojarasca-pasto-matorral (HPM según UCO40) en función de límites adicionales de cobertura de matorral que se quieran establecer. Algo parecido a esta propuesta se genera de forma automática usando el clúster K-medias (Figura 6). Efectivamente los resultados sugieren establecer 10 modelos generados en función de los 6 clústeres y las 4 variables propuestas. Los resultados sugieren que los modelos estándar son útiles pero simplifican mucho la realidad, forzando categorías estancas difícil de particularizar. El uso de algoritmos no supervisados pueden ayudar a fijar criterios para establecer modelos de combustible no estandarizados pero mucho más fieles a la realidad regional.

6. Conclusiones

El método desarrollado en este trabajo permite explotar los datos del IFN para describir cambios en la dinámica del matorral (Figura 3). Las principales limitaciones del IFN para obtener mapas precisos de modelos de combustible son: i) la resolución espacio-temporal de los datos, con la malla de muestreo de 1 km² e intervalo superior a los 10 años entre inventarios, es insuficiente para estimar un recurso que varía a escalas mucho más pequeñas y ii) el pequeño tamaño de la parcela en la que se lleva a cabo la estimación de coberturas y alturas de matorral, de 5 m de radio, no es suficiente para capturar la variabilidad espacial del matorral, lo que aumenta la varianza y el error de estimación. Los modelos geoestadísticos multivariantes como los propuestos en este trabajo permiten integrar otras fuentes de información con una resolución mayor en la interpolación, reduciendo el error de las estimaciones, y proporcionan mapas de las variables estudiadas así como mapas de error en la estimación (MONTES et al. 2005). Este trabajo ha puesto también en evidencia otras limitaciones del IFN para evaluar matorral como es la dificultad en la obtención de un dato objetivo de fracción de cabida cubierta de matorral, ya que los datos de inventario son recogidos como cobertura por especie, siendo imposible la diferenciación de los posibles solapamientos y teniendo que llegar a criterios como los establecidos en este trabajo (ALBERDI 2016). Por tanto la aplicación de estas metodologías de análisis basadas en las parcelas del IFN debería tomarse como orientativas a nivel espacial, ofreciendo tendencias interesantes a escala regional para períodos largos de tiempos como el descrito en este estudio (1990-2012). Metodologías más complejas como las propuestas por Marino et al. (2016) en las que el análisis se completa con imágenes satelitales mejoraría en gran medida la precisión espacial. Propuestas en las que se incluyan capas de información LiDAR y satelitales permitirían explorar modelos de co-krigeado espacio-temporales (MORENO-FERNÁNDEZ 2016) que permitan generar modelos dinámicos más allá de la cartografía descriptiva presentada en este trabajo.

7. Agradecimientos

Agradecemos a Aarón Nebreda su participación en el análisis de la base de datos y la elaboración de la cartografía que se presenta en este trabajo en el contexto de sus prácticas del Máster de Tecnologías de Información Geográfica (UCM) en el marco del convenio de prácticas entre la UCM y el INIA. Este trabajo se ha completado en el marco del proyecto SCALyFOR (AGL2013-46028-R) del Plan Nacional I+D+i.

8. Bibliografía

ALBERDI, I. 2016. Metodología para la estimación de indicadores armonizados a partir de los inventarios forestales nacionales europeos con especial énfasis en la biodiversidad forestal. Tesis Doctoral. ETSI de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

ANDERSON, H.E. 1982. Aids to Determining Fuel Models for Estimating Fire Behavior. USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-122. p. 20.

ARELLANO, S.; VEGA, J.A.; RUIZ, A.D.; ARELLANO, A.; ÁLVAREZ, J.G., VEGA, D.J. 2016. Fotoguía de combustibles forestales de Galicia. Xunta de Galicia. 224 pp.

BARRIO-ANTA, M.; ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P.; AFIF KHOURI, E.; CASTEDO-DORADO, F.; CÁMARA-OBREGÓN, A. 2012. Predicción del índice de sitio a partir de variables ambientales y de concentración foliar de nutrientes en masas regulares de *Pinus pinaster* Ait. en Asturias. *Cuad Soc Esp Cienc For* 34: 39-46

BIROT Y. (COORD.) 2009. Living with wildfire. What Science can tell us. EFI. Discussion Paper 15. 84 pp.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J. H.; OLSHEN, R. A.; STONE, C. J. 1984. Classification and regression trees. Monterey, CA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software.

MARINO, E.; RANZ, P.; TOMÉ, J.L.; NORIEGA, M.A.; ESTEBAN, J.; MADRIGAL, J. 2016. Generation of high-resolution fuel model maps from discrete airborne laser scanner and Landsat-8 OLI: A low-cost and highly updated methodology for large areas. *Remote Sens Environ* 187: 267-280.

GONZÁLEZ-OLABARRÍA, J.R.; RODRÍGUEZ, F.; FERNÁNDEZ-LANDA, A.; MOLA-YUDEGO, B. 2012. Mapping fire risk in the Model Forest of Urbión (Spain) based on airborne LiDAR measurements. *For Ecol Manag* 282: 149–156

HERNÁNDEZ, L.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; CAÑELLAS, I.; DE LA CUEVA, A.V. 2014a. Assessing spatio-temporal rates, patterns and determinants of biological invasions in forest ecosystems. The case of *Acacia* species in NW Spain. *Forest Ecol. Manag.* , 329: 206-213.

HERNÁNDEZ, L.; CAÑELLAS, I.; ALBERDI, I.; TORRES, I.; MONTES, F. 2014b. Assessing changes in species distribution from sequential large-scale forest inventories. *Ann For Sci* 71: 161–171.

MAPA. 1990. Clave fotográfica para la identificación de modelos de combustible. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. 11 pp.+fichas

MONTES, F.; HERNÁNDEZ, M.J.; CAÑELLAS, I. 2005. A geostatistical approach to cork production sampling estimation in *Quercus suber* L. forests. *Can J For Res* 35: 2787-2796.

MONTES, F.; LEDO, A. 2010. Incorporating environmental and geographical information in forest data analysis: a new fitting approach for universal kriging. *Can J For Res* 40: 1852-1861.

MORITZ, M.A.; BATLLORI, E.; BRADSTOCK, R.A.; GILL, M.A.; HANDMER, J.; HESSBURG, P.F.; LEONARD, J.; MCCAFFREY, S.; ODION, D.C.; SCHOENNAGEL, T.; SYPHARD, A.D. 2014. Learning to coexist with wildfire. *Science* 515: 58-66

MADRIGAL, J.; FERNÁNDEZ-MIGUELÁÑEZ, I.; HERNANDO, C.; GUIJARRO, M.; VEGA-NIEVA, D.J.; TOLOSANA, E. 2016. Does forest biomass harvesting for energy reduce fire hazard in the Mediterranean basin? A case study in the Caroig massif (Eastern Spain). *Eur J For Res* (online first DOI 10.1007/s10342-016-1004-5)

MORENO-FERNÁNDEZ, D.; HERNÁNDEZ, L.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; CAÑELLAS, I.; MONTES, F. 2016. Space-time modelling of changes in the abundance and distribution of tree species. *For Ecol Manag* 372: 206–216.

PASALODOS-TATO, M.; RUIZ-PEINADO, R.; DEL RÍO, M.; MONTERO, G. 2015. Shrub biomass accumulation and growth rate models to quantify carbon stocks and fluxes for the Mediterranean region. *Eur J For Res* 134 (3): 537-553

QUÍLEZ, R.; CHINCHILLA, S. 2012. Caracterización de modelos de combustible en la provincia de Valencia. *Flamma* 3 (2): 31-40

RODRÍGUEZ SILVA, F.; MOLINA, J.R. 2010. Manual Técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos. Universidad de Córdoba. 90 pp.

RUIZ-PEINADO, R.; DEL RÍO, M.; MONTERO, G. 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *For syst* 20 (1): 176-188

SCOTT, J.H.; BURGAN, R.E. 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen Tech Rep RMRS-GTR-153. USDA Forest Service.

VÉLEZ, R. (COORD.) 2009. La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias. McGraw-Hill. Madrid. 841 pp.