Cartografía de modelos de combustible, dos realidades: España y Venezuela

Cartography of fuel models, two realities: Spain and Venezuela

Cartografia de modelos de combustível, duas realidades: Espanha e Venezuela

Valentina Toledo Bruzual
toledo.valentina@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1079-5359

Centro de Investigación en Ciencias Naturales "Manuel Ángel González- Sponga" (CICNAT). Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela, Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

RESUMEN

Los incendios forestales provocan profundas transformaciones en los paisajes. En España, la cartografía de los modelos de combustible deriva del Mapa Forestal, algunos de los modelos pueden no responder a las formaciones vegetales con las descripciones realizadas por Rothermel mientras que el Mapa de Vegetación de Venezuela presenta la distribución espacial de las formaciones vegetales, a partir de límites bioclimáticos y ecológicos, pero no considera el comportamiento del fuego. El objetivo de este trabajo es reconocer los límites y alcances de la cartografía de modelos de combustibles y el uso de la teledetección en España. El método es una investigación documental de modelo descriptivo. España logra a nivel regional y local, la creación de una cartografía de modelos de combustible a partir de imágenes de satélite de alta resolución, actualizando los cambios de cobertura con tecnología alternativa. A futuro, Venezuela puede valerse de las experiencias de España para elaborar un mapa forestal con los combustibles en categorías según sus propiedades de comportamiento frente al fuego.

Palabras clave*: teledetección; Rothermel; España; Venezuela*

ABSTRACT

Forest fires cause profound transformations in landscapes. In Spain, the cartography of the fuel models is derived from the Forest Map, some of the models may not respond to the plant formations with the descriptions made by Rothermel, while the Vegetation Map of Venezuela presents the spatial distribution of the plant formations, on the basis of bioclimatic and ecological limits, but it does not consider the behavior of fire. The objective of this work is to recognize the limits and scope of the mapping of fuel models and the use of remote sensing in Spain. The method is a descriptive model documentary research. Spain achieves at regional and local levels the creation of a cartography of fuel models from high resolution satellite images, updating the coverage changes with alternative technology. In the future, Venezuela can use the experiences

of Spain to develop a forest map with fuels categorized according to their behavior properties against fire.

***Keywords**: remote sensing, Rothermel, Spain, Venezuelan*

RESUMO

Os incêndios florestais causam profundas transformações nas paisagens. Na Espanha, a cartografia dos modelos de combustível deriva do Mapa Florestal, alguns dos modelos podem não responder às formações vegetais com as descrições feitas por Rothermel, enquanto o Mapa de Vegetação da Venezuela apresenta a distribuição espacial das formações vegetais, um ponto de partida dos limites bioclimáticos e ecológicos, mas não considera o comportamento do fogo. O objetivo deste trabalho é reconhecer os limites e a abrangência do mapeamento de modelos de combustível e do uso de sensoriamento remoto na Espanha. O método é um modelo descritivo de investigação documental. Espanha consegue a nível regional e local, a criação de uma cartografia de modelos de combustível a partir de imagens de satélite de alta resolução, actualizando as mudanças de cobertura com tecnologias alternativas. No futuro, a Venezuela pode usar as experiências da Espanha para desenvolver um mapa florestal com combustíveis em categorias de acordo com suas propriedades de comportamento contra o fogo.

***Palavras-chave**: sensoriamento remoto; Rothermel; Espanha; Venezuela*

INTRODUCCIÓN

En muchos lugares las actividades humanas tales como la agricultura, la explotación forestal y el urbanismo se convierten en motores principales de la dinámica del paisaje. Entonces las perturbaciones de origen humano o natural, junto con las condiciones ambientales y los procesos ecológicos son los causantes de la heterogeneidad espacio-temporal, tal como se percibe en un momento o en un lugar dado (Burel y Baudry, 2002). Partiendo de la premisa planteada, se asume la definición de incendio forestal, al fuego no controlado sea de origen natural o antrópico que se propaga por la vegetación, en bosques o de cualquier otro tipo como sabanas, praderas, matorrales, pastizales, humedales o turberas (Pausas, 2012).

Las actividades humanas, han ido cambiando el régimen de incendios a lo largo de la historia. Pausas (2012), define régimen de incendios al conjunto de características de los incendios en un área o ecosistema determinado y a lo largo de un período de

tiempo, especialmente en referencia a la frecuencia, la intensidad, la estacionalidad y el tipo de incendio, pudiéndose diferenciar tres tipos: incendios de superficie, de copa y de subsuelo. Enfatiza que posiblemente lo importante, y no siempre fácil, es conocer el régimen de incendios natural, aceptando que el régimen sostenible puede cambiar con el clima.

Los factores que modulan el régimen de incendios forestales son: la biomasa vegetal como combustible, la variabilidad en la disposición hídrica expresada en la sequedad y las igniciones (por ejemplo, rayos). En ausencia de estos parámetros difícilmente se generarán incendios. Al respecto, Pettinari y Chuvieco (2012), señalan que los incendios forestales son un factor significativo en la transformación del medio, y tienen un rol relevante en los cambios de cobertura del suelo y en las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, entre otros impactos.

Los incendios forestales provocan profundas transformaciones en los paisajes, crean alarma social que deberían ser valoradas. En este contexto, el paisaje es abordado como un nivel de organización de los sistemas ecológicos, donde los patrones espaciales son descriptores privilegiados para analizar esta perturbación y su relación suelo-paisaje.

Ahora bien, estimar el comportamiento más probable del fuego en un lugar y en un momento dado para planificar acciones preventivas de los incendios y organizar su extinción, se ha intentado sintetizar desde hace mucho tiempo mediante modelos.

En los años setenta, el sistema evoluciona al actual de los modelos de combustible en dos versiones, el Sistema Nacional de Peligro de Incendio (NFDRS) y el del Laboratorio de Incendios Forestales (NFFL) de Missoula (Montana, USA) desarrollado por Rothermel, Anderson, Albini, Brown, Andrews y otros (Muñoz, 2009), llegando a clasificar los combustibles forestales según su forma de arder. Los trece modelos clásicos NFFL (Northern Forest Fire Laboratory, USDA Forest Service, USA) que aparecen en el sistema BEHAVE (Anderson 1982, Burgan y Rothermel 1984), son

adaptados por el ICONA para España. EI (ICONA 1987 y 1990) desarrolló una extensa guía fotográfica de combustibles forestales por regiones, recogiendo una amplia muestra de situaciones de combustibles superficiales, que se adscribieron a los trece modelos de combustible forestales, siguiendo la metodología de Anderson (1982).

Por otra parte, una de las limitaciones que presentan los mapas forestales tradicionales y de usos del suelo es que, si bien son muy detallados, las clases se refieren a asociaciones vegetales y éstas, lógicamente, no consideran el comportamiento del fuego, ejemplo de esto, el Mapa de vegetación de Venezuela.

Ahora bien, aun cuando las dos áreas de estudio muestran distintas condiciones ambientales y socioeconómicas, ambos territorios son afectados por los incendios forestales. Además, cada área exhibe características y necesidades concretas frente a los incendios. En España, en algunos modelos de combustible puede haber desestimaciones al no responder las formaciones vegetales a todas las descripciones realizadas por Rothermel mientras que el Mapa de Vegetación de Venezuela presenta la distribución espacial de las formaciones vegetales, a partir de límites bioclimáticos y ecológicos, pero no considera el comportamiento del fuego. En este sentido, el objetivo de este trabajo es reconocer los límites y alcances en el tema de la cartografía de modelos de combustibles y el uso de la teledetección en España valiendo como referente a Venezuela.

MÉTODO

La presente investigación es documental de modelo descriptivo. La recogida de datos parte de la revisión de libros, capítulos de libros y de congresos, artículos científicos y documentos técnicos, algunos impresos y otros electrónicos. La exposición se inicia con los modelos de combustibles Bevahe Rothermel y la asimilación de éstos en el Mapa Forestal de España como necesidad de identificación de forma diferenciada de propagación y emisión energética. Igualmente, se mencionan la identificación de

cierta incompatibilidad de los modelos con algunas zonas y la dificultad de la actualización de los cambios de combustibles forestales.

Se continua con los avances en el uso de la teledetección para generar cartografía de modelos de combustibles actualizados. Posteriormente, se menciona la utilidad de los modelos de combustible para los programas de simulaciones en el comportamiento de los incendios. Seguidamente, se señala la situación del Mapa de Vegetación de Venezuela, los limites para atender las necesidades contra los incendios forestales y finalmente, se resaltan las restricciones y alcances en los dos países. Se utiliza el método deductivo, es decir, de lo general para llegar a lo particular. Las consultas bibliográficas, abarcan tanto a nivel nacional, regional y local para los dos países.

RESULTADOS

En España, la cartografía de los modelos de combustible deriva del Mapa Forestal Español (MFE), como información base del Inventario Forestal Nacional 4 (IFN4) (DGDRPF, 2012), siguiendo el sistema de Rothermel (citado en Anderson, 1982).

Aunque la clave desarrollada por ICONA constituye un buen punto de apoyo, la gran heterogeneidad de las cubiertas vegetales origina multitud de variantes. Así, se puede decir, que cada situación requiere una adaptación particular de los modelos. Molina (2011), señala que no es válido buscar relaciones biunívocas entre el tipo de vegetación y el modelo de combustible, puesto que los factores operacionales que definen el comportamiento del fuego son las características del combustible, la topografía y el entorno en estudio.

En todo caso, Molina (2009) expone que difícilmente se encuentran formaciones que se puedan considerar como modelo. Puede haber desestimaciones de la existencia de algunos modelos de combustible, al no responder las formaciones vegetales a todas las descripciones realizadas por Rothermel. Posteriormente, Molina (2011), señala que, si algunos de los combustibles forestales encontrados difieren substancialmente de

aquellas recogidas en la clave fotográfica, aunque responda a la idea inicial del comportamiento del fuego previsto, detallado por Rothermel, será necesario adaptar los Modelos de Rothermel a las condiciones concretas y justificar (particularización) con respecto a este modelo. En tal sentido, el sistema BEHAVE, permite construir modelos de comportamiento del fuego en combustibles forestales.

Los límites de las distintas cubiertas vegetales, rara vez se encuentran claramente definidos, es decir, existen entremezclados, con una modificación gradual de la vegetación, complicando las clasificaciones. La vegetación forestal puede convertirse en combustible, por tanto, identificar los tipos y cómo lograrlo y a la vez visibilizar la mayor variabilidad en cada combustible, es un gran reto.

Muchos de los estudios se limitan a proporcionar información temporal a aquellos objetos analizados mediante diferencias espectrales derivadas de las imágenes en dos o más épocas de estudio en diferentes entornos forestales (Bontemps *et al*., 2008; Hermosilla *et al*., 2015; Tortini *et al.,* 2015). Frente a los análisis a nivel de píxel, en paisajes fragmentados y heterogéneos, los métodos de detección de cambios enfocados sobre el análisis de imágenes con base en objetos (OBIA), de alta resolución espacial (10-20 m/pixel) y de muy alta resolución (<10 m/pixel) (White *et al.,* 2016), permiten reducir la variabilidad espectral (Fassnacht *et al*., 2016; Alonso-Benito, *et al.*, 2016). De esta forma, se obtiene un incremento en la precisión de mapas de vegetación combustible debido a la capacidad del OBIA para incorporar información de contexto al análisis, que completa a la información espectral de partida, y permite así discriminar mejor entre aquellos modelos de combustibles con un patrón espectral parecido (Gil, 2017) y usar sus características espectrales, texturales y geométricas para clasificar la escena (Kucharczyk *et al*., 2020).

Asimismo, se han planteado diferentes trabajos orientados al mapeo de combustibles a partir de sensores remotos activos y pasivos. Entre ellos destacan los de Chavero (2011), García *et al*., (2011) y Marino e*t al*., (2016); combinan los datos multiespectrales y datos Light Detection Ranging (LIDAR). Además, siguen la misma

metodología para generar una cartografía de combustibles, planteando primero una clasificación de tipos de vegetación sobre imágenes multiespectrales, y empleando posteriormente métricas LIDAR para diferenciar tipos de combustibles.

La precisión de los mapas obtenidos por teledetección bien sea de combustible o área quemada se evalúan frente a los datos de campo recogidos, por ejemplo, en el Inventario Forestal Nacional y del PNOA-LIDAR. España dispone de un Plan Nacional de captura de información LIDAR, como parte del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (LIDAR-PNOA, 2015). Las características del vuelo LIDAR del PNOA garantizan una densidad de 0,5 puntos/m^2, pero existen realidades distintas según las diferentes Comunidades Autónomas como por ejemplo las actualizaciones, las cuales presentan retraso lo que conlleva caducidad muy rápida. Así como también, la asignación de los modelos de combustible que para efectos prácticos para muchas zonas (Norte de España en especial) pueden resultar poco objetivos respecto a la realidad, esto se debe a lo señalado por Molina (2011) en párrafos anteriores.

En contraposición con lo anterior, Sánchez *et al*., (2019) obtuvieron un mapa de modelos de combustible, para el sector oeste de Asturias, procedente de las tres fuentes de datos para cada píxel de 25 m. Para la definición del tipo de vegetación existente en cada pixel utilizaron el Mapa Forestal Español (MFE) (tipo de estructural, estrato y formaciones arbustivas) e hicieron diferentes agrupaciones para poder posteriormente, relacionar toda esta información con los modelos de combustibles descritos en la foto guía de modelos de combustibles de Galicia (Arellano *et al*., 2017) y los datos LIDAR. Paralelamente, diseñaron un modelo de ejecución que permite reproducir de manera semiautomática todo el proceso a diferentes escalas.

Por tanto, no solo con teledetección sino también con datos de inventarios de campo (foto-guías), se pueden crear modelos específicos de combustible, por supuesto a mesoescala. También se utilizan de complemento de los inventarios forestales tradicionales de biomasa y para verificar relaciones con la encontrada mediante

diferentes sensores dispuestos en medios aéreos, tripulados o no, o desde satélite, o bien desde tierra (Fassnacht, *et al*., 2016).

La Dirección General de Prevención de Incendios Forestales de la Comunidad Valenciana (2019), obtuvo un Mapa de modelos de Combustibles, de alta resolución (10 x10m²), el cual representa 18 modelos de combustible, de los cuales 14 son combustibles forestales y por tanto inflamables y 4 de ellos no inflamables, que se corresponden con zonas urbanas, agrícolas, agua y suelo desnudo.

Asimismo, Pereira (2020), realizó una actualización cartográfica de forma semiautomática de grupos de combustibles empleando imágenes de satélite y software libre, y para áreas quemadas, utilizó una plataforma web para el procesamiento geoespacial, a escala de municipio (Tineo). La ventaja de la metodología propuesta, es que reduce las limitaciones que supone depender de la publicación de los datos de Inventario Forestal Nacional y del PNOA-LIDAR.

La tendencia actual de acceder de forma libre a gran cantidad de información ya procesada para su uso en la nube como en el caso de la plataforma *Google Earth Engine* (GEE), o bien su descarga para su integración en los sistemas de información geográfica (SIG), han permitido generalizar el uso de sensores remotos pasivos como *Landsat* 8 OLI o *Sentinel* 2 MSI en la gestión forestal (Anaya, Sione, y Rodríguez, 2018).

Igualmente, se ha incrementado hacia el análisis basado en Series Temporales (AST) a través del algoritmo *LandTrendr* (LT) (Kennedy *et al.*, 2010). La estrategia se basa en el reconocimiento de que el cambio no es simplemente un contraste entre las condiciones en dos puntos en el tiempo, sino más bien un proceso continuo que opera a velocidades rápidas y lentas en los paisajes. Las innovaciones de LT para la plataforma *Google Earth Engine* (GEE) simplifica los pasos de preprocesamiento (Kennedy *et al*., 2018). Representa una traducción fiel del código LT en una plataforma de fácil acceso para la comunidad de usuarios en general.

En efecto, el monitoreo forestal con enfoques de teledetección sustenta políticas como la Reducción de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Deforestación y Degradación de los Bosques (REDD +) y la Mesa Redonda sobre la certificación del Aceite de Palma Sostenible (Lechner *et al*., 2020). Razón por la cual, existe un uso más frecuente de estas tecnologías y el algoritmo *LandTrendr* en la modelización de la regeneración post-incendio, (Martínez, *et al*., 2017; Aguado, *et al*., 2019).

En esa misma línea, existen ejemplos en la literatura para casi todas las combinaciones de sensores y plataformas. Lechner *et al*., (2020), señalan, SAR montado en vehículo aéreo no tripulado (VANT) es posible, pero su aplicación hasta ahora es inusual. Por último, los datos de teledetección, como los índices espectrales (por ejemplo, NDVI), se pueden utilizar como entradas en modelos físicos, empíricos y semi-empírico (BEHAVE) para caracterizar una amplia gama de variables forestales.

Recapitulando, los modelos de combustible en la cartografía española ya no solo tienen una función descriptiva, sino que son fundamentales para la simulación más ajustada a la realidad. La obtención de una capa de modelos de combustible sería y fiable es primordial, pues constituye el primer dato de entrada para sistemas de simulación del comportamiento del fuego, lo cual facilita la planificación para prevención, vigilancia y extinción de los incendios forestales. Habrá casos en los que la propagación espacial del fuego estará gobernada principalmente bien por la topografía, o por el viento (meteorología).

No obstante, en otras ocasiones, será la particular distribución, por el paisaje, de los modelos de combustibles forestales la que marcará la diferencia en cuanto a propagación del fuego (Molina, 2009).

En Venezuela, en cuanto a la cartografía, se dispone del Mapa de Vegetación, a escala 1:250.000 (MARNR, 1995), elaborado a partir de imágenes Landsat TM de 1988, muestra la distribución espacial de las formaciones vegetales, indicando sus límites actuales reales dentro del marco bioclimático y ecológico en que se desarrollan los

distintos tipos de vegetación, lógicamente, no considera el comportamiento del fuego. Después de esta última fecha no se han editado más documentos cartográficos de vegetación en el país.

Según un informe de la FAO (s/f), el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, menciona como desafíos del sector forestal implementar el inventario forestal nacional para cuantificar y calificar los recursos forestales disponibles e intensificación de las investigaciones que permitan disminuir el grado de incertidumbre en cuanto a las respuestas del ecosistema.

En consecuencia, la bibliografía científica más cercana a describir la realidad a escala nacional del territorio se tiene con el trabajo de Lozada (2007). El autor presenta la situación forestal del país por medio de un conjunto de argumentos que se fundamentan en una recopilación de referencias técnicas, así como también, de reportes de investigaciones (artículos científicos y tesis). Confirma que existen desplazamientos bruscos, hacia las reservas forestales, con el fin de acceder a la propiedad de las tierras. Como consecuencia de este proceso, actualmente se aprecia en los territorios Ticoporo (Barinas), Caparo (Barinas), Sipapo (Amazonas), Imataca (Bolívar y Delta Amacuro) y El Caura, San Pedro (Bolívar) la desaparición casi absoluta de los bosques.

Como último recurso, a nivel nacional se dispone de una aplicación que permite conocer la localización de focos activos entre 2001-2020. La capa base de este mapa utiliza imágenes satelitales de alta resolución. Las imágenes no se actualizan al mismo ritmo que los fuegos activos y pueden confundirse con refinerías que poseen antorchas o quemadores de gas natural que aparecen como focos de calor. También ocurre con otras industrias. Los focos se actualizan automáticamente cada 24 horas con datos públicos disponibles en la página del Sistema de Información de Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS) de la NASA. Al respecto, Carpio (2020) señala que Prodavinci, analizó veinte años de datos de incendios (2001- 2020), ocurridos en Distrito Capital y Miranda.

Límites y Alcances

A pesar de que España cuenta con una trayectoria histórica en el tema de los incendios forestales, Viedman *et al*., (2016), destaca que todas las Comunidades Autónomas disponen de índices de riesgo por incendio forestal estáticos en los Planes de Prevención y dinámicos en sus servicios meteorológicos regionales.

En España, la teledetección es una de las distintas fuentes de información que dispone para la lucha contra los incendios forestales mientras que Venezuela, depende de reportes foráneos, lo que supone escasa o nula de una alerta temprana que permita atender el problema.

Las experiencias de generación de cartografía de modelos de combustibles en algunas Comunidades Autónomas apoyadas en la teledetección, muestran la necesidad de ajustar algunas formaciones vegetales al no responder a la descripción por Rothermel. Se constata en la bibliografía científica participación de diferentes universidades en el desarrollo de esta línea de investigación.

La falta de actualización del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea LIDAR-PNOA por más de cinco años, según datos el Programa Operativo Anual (2018), promovió la iniciativa en algunas comunidades de proseguir con la actualización de los cambios de cobertura vegetal. Sin embargo, al utilizar sensores y metodologías diferentes, los productos regionales no son comparables ni susceptibles de integrarse para construir cartografías que sirvan de base para estudios de mayor ámbito.

En Venezuela, las bases de datos cartográficos que almacenan información del territorio con distintos propósitos, diferentes tipos de dato y enfoques, se encuentran desactualizadas debido a presupuestos y conocimientos técnicos limitados.

Por consiguiente, mientras no se tenga una mejor valoración de cómo la estructura del paisaje condiciona la propagación del fuego bajo tal o cual situación de peligro, la

evaluación real de la peligrosidad derivada de una ordenación territorial dada es incierta (Moreno, 2005); lo expresado por el autor cobra vigencia para ambos países.

CONCLUSIONES

En España a nivel regional y local, en algunas comunidades han logrado la creación de una cartografía detallada de modelos de combustible a partir de imágenes de satélite de alta resolución, actualizando los cambios de cobertura con tecnología alternativa.

Por otra parte, Venezuela necesita elaborar un mapa forestal con los combustibles en categorías según sus propiedades de comportamiento frente al fuego para la prevención, operativo de vigilancia y extinción para combatir los incendios forestales.

Finalmente, visibilizar la gradualidad para incluir mayor variabilidad en cada combustible, sigue siendo un gran desafío en el área de la cartografía digital. Venezuela puede apoyarse de las experiencias de España para elaborar a futuro el Mapa Forestal de Venezuela.

REFERENCIAS

Aguado, I., Martínez, S., Viana-Soto, A., Chuvieco, E., y Salas, J. (2019). Uso de series temporales de satélite en el seguimiento de las áreas incendias. En Francisco García Novo, Mercedes Casal y Juli Pausas (Ed.). Sevilla: *Ecología de la regeneración de zonas incendiadas* (pp.147-161). Academia y del medio ambiente de Andalucía- ACSYMA

Alonso-Benito, A., Arroyo, L., Arbelo, M. and Hernández-Leal, P. (2016). Fusion of WorldView-2 and LiDAR Data to Map Fuel Types in the Canary Islands. *Remote Sensing*, 8(8), p. 669. https://doi:10.3390/rs8080669.S

Anaya, J. A., Sione, W., Rodríguez-Montellano, A. (2018). Detección de áreas quemadas basada en análisis de series temporales en un entorno de computación en la nube. *Revista de Teledetección*, 51, 61-73. https://doi.org/10.4995/raet.2018.8618

Anderson, H. (1982). Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. *General Technical Report. INT-122*. USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station

Arellano, S., Vega, J., Ruíz, A., Arellano, A., Álvarez, J., Vega, D. y Pérez, E. (2017). *Foto-guía de combustibles forestales de Galicia y comportamiento del fuego asociado*. Galicia: Andavira

Bontemps, S., Bogaert, P., Titeux, N. y Defourny, P. (2008). An object-based change detection method accounting for temporal dependences in time series with medium to coarse spatial resolution. *Remote Sensing of Environment*, 112,3181- 3191

Burgan, R and Rothermel, R. (1984). BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system – FUEL subsystem. *General Technical Report. INT-167*. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.https://doi.org/10.2737/INT-GTR-167

Burel, F., y Baudry, J. (2002). *Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid: Mundi-Prensa.

Carpio, H. (24 de noviembre del 2020). *¿Qué nos dicen los satélites sobre los incendios en Caracas y Miranda?* [Documento en línea]. Ángel Alayón, Oscar Marcano y Valentina Oropeza (Ed.). http://factor prodavinci.com/

Chavero, P. (2011). *Cartografía de modelos de combustible del monte Nº117 del C.U.P. (Término municipal de Cuenca) basada en datos de sensores remotos*. [Trabajo Fin de Grado], E.U.I.T. Forestal (UPM) [antigua denominación]

Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal (DGDRPF). (2012). *Cuarto Inventario Forestal Nacional*. Asturias: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Dirección General de Prevención de Incendios Forestales de la Comunidad Valenciana (2019). Mapa de *Modelos de combustible de la Comunitat Valenciana*. España: Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica

FAO. (s/f). Breve descripción de los Recursos Forestales en Venezuela. [Documento en línea]. http://www.fao.org/3/ad102s/AD102S15.htm

Fassnacht, F., Latifi, H., Stereńczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, M., Waser, L., Straub, C., y Ghosh, A. (2016) Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 186, 64-87

García, M., Riaño, D., Chuvieco, E., y Gajardo, J. (2011) Estimación de propiedades de los combustibles de copa mediante diferentes plataformas de datos LíDAR. Teledetección. En Carmen Recondo González y Enrique Pendás Molina (Ed.), Asturias: Cap. Bosques y cambio climático. *XIV Congreso de la Asociación Española de Teledetección Mieres del Camino* (221-224), 21 al 23 de septiembre

Gil, J. (2017). Desarrollo integrado de técnicas de análisis de imágenes y datos LiDAR para la actualización de bases de datos de ocupación del suelo. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.48329

Hermosilla, T., Wulder, M., White, J., Coops, N., Hobart, G. (2015). Regional detection, characterization, and attribution of annual forest change from 1984 to 2012 using

Landsat-derived time-series metrics. *Remote Sensing of Environmen*t, 170,121–132

ICONA. (1987). Guía fotográfica para la identificación de modelos de combustible. MAPA. Madrid.

ICONA. (1990). Clave fotográfica para la identificación de modelos de combustible, Defensa contra incendios forestales. MAPA. Madrid.

Kennedy, R., Yang, Z., and Cohen, W. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr — Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 114, 2897-2910. https://doi. org/10.1016/j.rse.2010.07.008

Kennedy, R., Yang, Z., Gorelick, N., Braaten, J., Cavalcante, L., Cohen, W. y Healey, S. (2018). Implementación del algoritmo LandTrendr en Google Earth Engine. *Teledetección*, *10* (5), 691. doi: 10.3390 / rs10050691

Kucharczyk, M., Hay, G., Ghaffarian, S. and Hugenholtz, C. (2020). Geographic Object-Based Image Analysis: A Primer and Future Directions, Remote Sensing. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 12(12), p. 2012. doi:10.3390/rs12122012

Lechner, A., Foody, G.and Boyd, D. (2020) Applications in Remote Sensing to Forest Ecology and Management, *One Earth*, 2(5), 405–412. http://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.05.001

LIDAR-PNOA. (2015). CC-BY 4.0. Sistema Cartográfico Nacional. *Instituto Geográfico Nacional, Dirección General del Catastro, Confederación Hidrográfica del Tajo, Confederación Hidrográfica del Duero y Castilla y León*. Gobierno de España y Castilla y León. http://www.scne.es/

Lozada, J. (2007). Situación actual y perspectivas del manejo de recursos forestales en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana,* 51(2),195-218

Marino, E., Ranz, P., Tomé, J., Noriega, M., Esteban, J. y 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 Sensing of Environment*, 187, 267–280. doi:10.1016/j.rse.2016.10.020

Martínez, S., Chuvieco, E., Aguado, I., Salas, J. (2017). Severidad y regeneración en grandes incendios forestales: un análisis de la serie temporal Landsat. *Revista de Teledetección*, 49, 17-32. https://doi.org/10.4995/raet.2017.7182

MARNR. (1995). Mapa de vegetación de Venezuela. Caracas. Venezuela.

Molina, D. (2009). Simuladores para predecir los efectos del fuego en el arbolado. En Ricardo Vélez (Ed.), España: *Incendios forestales: Fundamentos y Aplicaciones*. (pp.95-110). McGraw-Hill

Molina, D. (2011). Asignación de modelo de combustible para la planificación. En Ricardo Vélez (Ed.). *Incendios forestales: Fundamentos y Aplicaciones*. McGraw-Hill. (pp.265-270). [Documento en línea] https://www.researchgate.net/publication/

Moreno, J. (2005). Riesgo de incendios forestales. Capítulo 12. *Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático.* (pp. 581-615). https://www.miteco.gob.es/en/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-

Muñoz, V. (2009). La definición de incendio forestal. En Ricardo Vélez (Ed.). España: La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. (Cap 1) (pp.3-12). McGraw-Hill

Pausas, J. (2012). *Incendios forestales. Una visión desde la ecología*. Madrid: CSIC

Pereira, D. (2020). *Análisis de detección de cambios utilizando imágenes satélitales multitemporales Sentinel 2 y su integración en la generación de mapas de combustibles a escala municipal*. [Tesis de Maestría, Universidad de León]. http://hdl.handle.net/10612/12471

Pettinari, M., y Chuvieco, E. (2012). Metodología para el desarrollo de un mapa de combustible para Suramérica. Tecnologías de la información geográfica en el contexto de cambio global. En: Javier Martínez e Isabel Pilar (Ed.). *XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica* (pp. 169-178). Madrid: CCHS-CSIC

Programa Operativo Anual. (2018). Plan Cartográfico Nacional 2017-2020 [Documento en línea]. ttps://cdn.fomento.gob.es/portal-web-drupal/.pdf

Sánchez, S., García, M., Velasco, A. y Canga, E. (2019). Generación cartografía de modelos combustibles a partir de datos LiDAR: herramienta flexible, actualizable y escalable. *TRESEME 44*, 1-5. https://www.researchgate.net/publication/33478421

Tortini, R., Mayer, A., Maianti, P. (2015). Using an OBCD approach and Landsat TM data to detect harvesting on nonindustrial private property in upper Michigan. *Remote Sensing*,7(6), 7809–7825

Viedma, O., Fernández, M. y Quesada, C. (2016). Fuentes cartográficas de incendios. En Moreno, J. (2016). *Los incendios forestales en España en un contexto de cambio climático: información y herramientas para la adaptación (infoadapt)* (pp.47-70). Universidad de Castilla-La Mancha

White, J. Coops, N. Wulder, M., Vastaranta, M., Hilker, T. and Tompalski, P. (2016). Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42(5), 619–641. doi:10.1080/07038992.2016.1207484

AGRADECIMIENTO

La autora agradece al Dr. Jorge Marquínez, INDUROT, Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, por la iniciativa del tema de los incendios forestales.