



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1419

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Calculadora de combustibles forestales de Galicia y comportamiento del fuego asociado

RUIZ GONZÁLEZ, A.D. (1), VEGA HIDALGO, J.A. (2) ARELLANO PÉREZ, S. (3) y ALVAREZ GONZÁLEZ, J. G. (1)

(1) Unidad de Gestión Ambiental y Forestal Sostenible (UXAFORES). Departamento de Ingeniería Agroforestal, Campus Terra, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario s/n, 27002, Lugo, España.

(2) Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Apartado de correos 127. 36080, Pontevedra, España.

(3) AGRESTA Sociedad Cooperativa, c/ Duque de Fernán Nuñez 2, 28012 Madrid, España

Resumen

La calculadora es una herramienta que estima, a partir de variables de fácil medición en campo, la carga de vegetación y de hojarasca y mantillo. Incluye sistemas de ecuaciones específicos para comunidades de matorral leñoso, helechales o zarzales desarbolados y para el sotobosque de latizales y fustales de pino del NW peninsular. Las cargas de vegetación aparecen además desglosadas por clase de tamaño (grosor < 6 mm, o superior) y estado biológico (vivo o muerto). Para los pinares la calculadora también incluye ecuaciones de estimación de las características estructurales del dosel arbóreo más relevantes en relación con el riesgo de iniciación y de propagación del fuego de copas. Una vez evaluados los combustibles y fijadas por el usuario unas condiciones de viento, pendiente y humedad de los combustibles el sistema proporciona estimaciones del comportamiento del fuego de superficie y del riesgo de iniciación de fuego de copas. Con el uso de esta herramienta, disponible en versión App web (<https://fcfg.es/calculadora/>) y en versión EXCEL descargable (<https://www.uxafores.com/>) pretendemos que los gestores puedan evaluar los combustibles forestales de una forma ajustada a la realidad y así mejorar la capacidad de gestión de la vegetación en los ámbitos preventivos y de combate de incendios forestales.

Palabras clave

Matorrales, pinares, sotobosque, cargas de combustible, dosel de copas, gestión del combustible, simulación de incendios.

1. Introducción

Desde el punto de vista de la gestión de incendios, la carga de combustible (biomasa por unidad de superficie) se considera la característica estructural más importante de todas pues afecta tanto a la evaluación del riesgo de incendio como a la predicción de su comportamiento, a la toma de decisiones en el combate o a la evaluación de los efectos o severidad del fuego (KEANE, 2013; 2015; WEISE & WRIGHT, 2014). La energía que genera el incendio y que a su vez se invierte en seguir inflamando y propagando el fuego depende de la carga de combustible, que,



junto con la velocidad de propagación, modula su intensidad. La carga, desglosada por estrato de combustible, clase de tamaño y estado vegetativo, es una variable de entrada imprescindible en la modelización del comportamiento de los incendios forestales (ROTHERMEL, 1972; MORVAN & DUPUY, 2004) y en las herramientas operativas derivadas (FINNEY, 1998; 2006; ANDREWS, 2014). También las estimaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero de los incendios dependen de la biomasa consumida y, por tanto, de la carga de combustible previa al incendio (ANDREAE, 2019).

Estas razones, junto con el estado de muchos montes en Galicia en los que se acumulan ingentes cantidades de combustible aumentando la capacidad energética de los incendios (VEGA et al., 2021), han motivado que en los últimos años el grupo de investigación UXAFORES (<https://www.uxafores.com/>) trabajando de forma conjunta con el Área de Protección Forestal del Centro de Investigación Forestal de Lourizán se haya centrado en el desarrollo de herramientas de evaluación de cargas y otras características estructurales del complejo de combustible en la región.

La FOTO-GUÍA de combustibles de Galicia y comportamiento del fuego asociado (ARELLANO et al. 2017, (<https://fcfg.es/>)) supuso un primer paso en la clasificación y cuantificación de combustibles forestales de Galicia al proporcionar en forma de ficha información visual y muy detallada de cargas y estructura de situaciones de combustible características de región. En la actualidad incluye 150 fichas agrupadas en cuatro grandes categorías (herbazales, matorrales desarbolados, arbolado de hoja perenne y arbolado de hoja caduca), pero es un sistema abierto que permite ir añadiendo nuevas descripciones. Posteriormente, se han ido publicado sistemas de ecuaciones de estimación de cargas de vegetación y cubierta orgánica del suelo específicas para las principales comunidades desarboladas de Galicia, incluyendo matorrales y helechales (VEGA et al., 2022a) y para el sotobosque de *Pinus pinaster*, *P. radiata* y *P. sylvestris* (VEGA et al., 2022b). También se ha desarrollado y publicado, entre otros, una colección de modelos de combustible específicos para comunidades desarboladas basados en características estructurales y del comportamiento del fuego (VEGA et al., 2024a) y unas ecuaciones de predicción del incremento de carga de matorral con la edad (VEGA et al., 2024b) en tojales y brezales altos. Nuestro reto ahora es que el uso de todos los modelos generados, cuya estructura es compleja pero que, sin embargo, se basan en variables de fácil medición en campo, sea atractivo y sencillo para el gestor; para ello proponemos la calculadora de combustible de Galicia y comportamiento del fuego asociado.

2. Objetivos

El objetivo de la calculadora es proporcionar a los gestores de los montes en el ámbito del NW peninsular una herramienta sencilla y operativa de evaluación de combustibles forestales basada en modelos previamente publicados. Con su uso se pretende mejorar la capacidad de gestión de la vegetación en los ámbitos preventivos y de combate de incendios forestales, así como la evaluación del almacén de carbono, el consumo de combustible durante el incendio y las



emisiones de CO₂. El objetivo concreto de esta comunicación presentada al 9CFE es la difusión de la herramienta entre los potenciales usuarios, informando sobre los cálculos que realiza y proporcionando unas pautas sobre su uso.

3. Metodología

La calculadora es una herramienta que estima, a partir de variables de fácil medición en campo, la carga (biomasa de combustible por unidad de superficie) de vegetación y de hojarasca y mantillo en complejos de combustible del NW peninsular. Una vez evaluados los combustibles y fijadas por el usuario unas condiciones de viento, pendiente y humedad de los combustibles el sistema proporciona estimaciones del comportamiento del fuego de superficie y del riesgo de iniciación de fuego de copas en pinares. La calculadora se ha desarrollado en dos formatos diferentes: un aplicativo web y un EXCEL descargable.

En ambos casos, la versión actual de la calculadora incluye sistemas de ecuaciones alométricas de estimación de cargas de combustible de comunidades desarboladas y del sotobosque de latizales y fustales de pino. Los sistemas implementados proporcionan cargas totales y también desagregadas por estrato (vegetación y hojarasca y mantillo), clase de tamaño (fino (grosor < 6 mm) o grueso (grosor \geq 6 mm) y estado biológico (vivo o muerto) en el caso de las partículas finas. Todos los sistemas cumplen la propiedad de la aditividad (p. ej. La suma de las cargas estimadas para la fracción fina y la gruesa por separado tiene que dar el mismo resultado que la estimación obtenida con la ecuación de carga total de vegetación).

Las ecuaciones de estimación de cargas de combustible en comunidades desarboladas se basan en muestreos destructivos realizados en más de 700 parcelas, e incluyen sistemas específicos para ocho comunidades diferentes de matorral leñoso, todas ellas relevantes por su amplia representación territorial en Galicia o por su elevada inflamabilidad, y caracterizadas por una determinada especie dominante (ver Figura 3). También incluyen un sistema específico para comunidades dominadas por helecho que puede ser aplicado a zarzales. Además, para facilitar el uso de la calculadora, en el caso de que el usuario tenga dificultades para diferenciar entre especies se incluyen modelos para comunidades agrupadas (por tener características estructurales semejantes como es el caso de las dos comunidades de tojo o las dos de retama, o por ser comunidades que aparecen asociadas con frecuencia como las ericáceas pequeñas y la carquesa), y para el conjunto de todos los matorrales leñosos. También, para facilitar su uso se han implementado dos colecciones de modelos diferenciados por sus variables de entrada, que deberían de obtenerse a partir de mediciones efectuadas a lo largo de transectos lineales replanteados en el complejo a evaluar: i) en los primeros, más precisos, las variables de entrada son la altura media de la vegetación (cm), su cobertura (%) y el espesor medio de la capa de hojarasca y mantillo (cm); ii) en los segundos, de menor precisión pero que requieren un menor esfuerzo de inventario, la única variable de entrada es la altura media de la vegetación.



Las ecuaciones de estimación de cargas de sotobosque bajo pinar se basan en muestreos destructivos realizados en más de 300 parcelas, son específicas para las tres especies de pino más representadas en la Galicia (*Pinus pinaster*, *P. radiata* y *P. sylvestris*), y aunque no diferencian entre especies de sotobosque sí tienen en cuenta su tipología, diferenciando tres casuísticas: matorral leñoso, predominio de helechos o zarzas, o ausencia de vegetación. En cuanto a las variables de entrada, también se han implementado dos colecciones de modelos: i) los primeros, más precisos, se basan en variables de rodal y de sotobosque; ii) los segundos, de menor precisión se basan únicamente en variables de rodal.

Todos los modelos de estimación de cargas en comunidades desarboladas implementados en la calculadora han sido publicados en VEGA et al. (2022a) y los de sotobosque bajo pinar en VEGA et al. (2022b). Además, todos ellos se han recopilado en una comunicación de síntesis presentada en este Congreso Forestal Español.

Por otro lado, también se han incluido en la calculadora los modelos de FERNANDEZ ALONSO et al. (2013) de estimación de las características estructurales del dosel más relevantes en relación con el riesgo de iniciación y de propagación del fuego de copas en pinares, es decir, modelos de estimación de CBH (altura media de inicio de la base de la copa, m), CFL (carga de combustible disponible en el dosel, kg/m²) y CBD (densidad aparente del dosel, kg/m³). Estos modelos se desarrollaron a partir de la información de más de 1300 parcelas de pino del 4IFN (MARM, 2011)

Las variables del comportamiento del fuego estimadas, tanto en el caso de comunidades desarboladas como en pinares son la velocidad de propagación del fuego de superficie (m), su intensidad (kW/m) y su longitud de llama (m). Para estimar la velocidad de propagación y la longitud de llama se han empleado modelos empíricos desarrollados por el Centro de Investigación Forestal de Lourizán (pendientes de publicación) mientras que la intensidad lineal se ha calculado según BYRAM (1959). Finalmente, los fuegos de superficie se clasifican por su velocidad de propagación VEGA (1987) y por su dificultad de extinción asociada a la longitud de llama (ANDREWS, 2011). En el caso de los pinares también se estima la posible iniciación del fuego de copas utilizando el criterio de VAN WAGNER (1977), se determina el umbral de velocidad del viento a 2 y 10 metros que permitiría la transición de acuerdo con dicho criterio y se clasifica el incendio como de superficie o de copas.

La principal diferencia entre el aplicativo web y el EXCEL es que este último añade un sistema de evaluación del combustible en comunidades desarboladas, bien sean leñosas o helechales, por asignación de modelos de combustible específicos para la región y publicados en VEGA et al. (2024a).

El aplicativo web se ha desarrollado empleando código HTML, CSS y Javascript. Funciona en un entorno de aplicación web multiplataforma y se ha empleado para su desarrollo la biblioteca multiplataforma externa Bootstrap 4.1

(<https://getbootstrap.com/docs/4.1/>) para diseño de sitios y aplicaciones web.

4. Resultados

A modo de resultados se ilustra el uso de la calculadora, primero en su versión web y después en su versión EXCEL. En el primer caso (aplicativo web) se propone un ejemplo de evaluación del combustible en una comunidad de matorral desarbolado dominada por la especie *Erica australis* (Figura 1) en la que se ha establecido un transecto lineal a lo largo del cual se han realizado mediciones que han permitido el cálculo de la altura media de la vegetación (70 cm), su cobertura (98%) y el espesor medio de la capa de hojarasca y mantillo (3 cm). También se estimará el comportamiento del fuego potencial para las siguientes condiciones del medio: pendiente 10%, velocidad del viento a media llama 5 km/h y humedad del combustible fino muerto moderada (9%).



Figura 1. Comunidad de matorral desarbolado con dominancia de Erica australis. Transecto establecido para medición de alturas y coberturas de la vegetación, así como del espesor de la capa de hojarasca y mantillo.

Se puede acceder a la calculadora directamente (<https://fcfg.es/calculadora/>), o indirectamente a través del menú “Herramientas” de la App FOTO-GUÍA de combustibles forestales de Galicia (<https://fcfg.es>) (Figura 2).



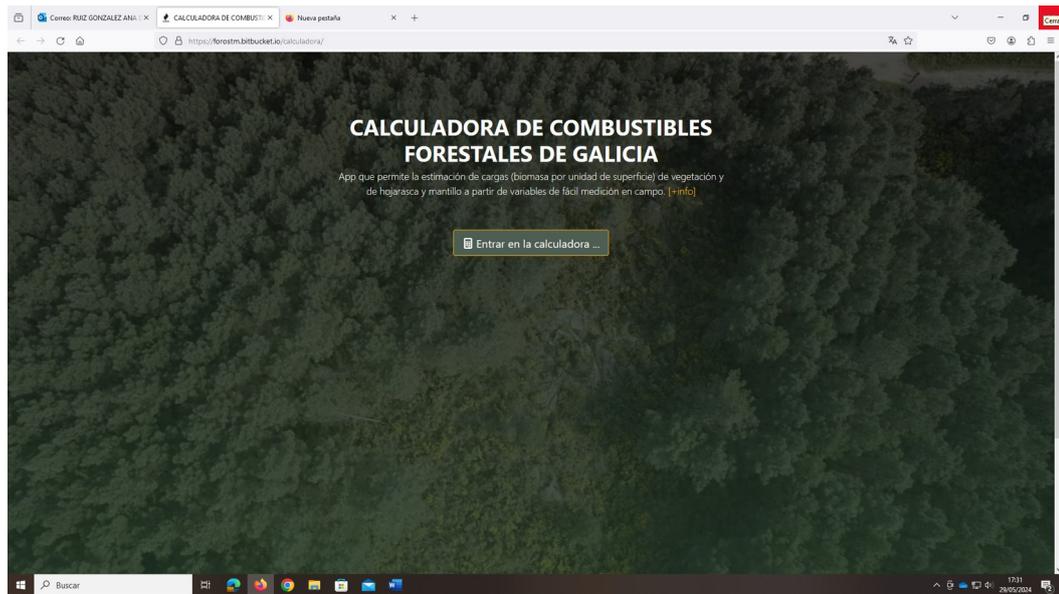


Figura 2. Acceso a la calculadora desde el menú de Herramientas de la FOTO-GUÍA de combustibles forestales de Galicia.

A continuación (Figura 3), seleccionar el tipo de vegetación a evaluar y la especie dominante de la comunidad que en el ejemplo son matorral desarbolado y *Erica australis*, respectivamente.

A screenshot of the application's selection screen. The title bar reads "CALCULADORA DE COMBUSTIBLES FORESTALES DE GALICIA". The main question is "¿Qué tipo de vegetación quieres evaluar?". There are two radio button options: "Matorral desarbolado" (selected) and "Arbolado de hoja perenne". At the bottom, there are navigation buttons: "< Anterior" on the left and "Sigüente >" on the right. A progress indicator shows five circles, with the first one filled.



CALCULADORA DE COMBUSTIBLES FORESTALES DE GALICIA

¿Qué especies son las dominantes en la comunidad?

- Cistus ladanifer*
- Cytisus multiflorus*
- Cytisus striatus* o *C. scoparius* o *Genista obtusiramea*
- Erica australis* o *E. arborea* o *E. scoparia*
- Erica umbellata* o *E. mackaiana* u otras ericáceas de bajo porte
- Pteridium aquilinum*
- Pterospartum tridentatum*
- Ulex europaeus*
- Ulex gallii* o *U. minor*
- Agrupación de retamas
- Agrupación de ericáceas de bajo porte o carqueixales
- Agrupación de tojos
- Cualquier comunidad de vegetación leñosa

< Anterior ● ● ○ ○ ○ □ Siguiente >

Figura 3. Selección del tipo de vegetación a evaluar y de la especie dominante en la comunidad (en el ejemplo matorral desarbolado y *Erica australis*).

Después (Figura 4), seleccionar una de las dos opciones sobre disponibilidad de datos en función del inventario de campo realizado. En el ejemplo seleccionamos la primera opción pues disponemos del valor de las tres variables requeridas. A continuación, introducir la información (Figura 5).



CALCULADORA DE COMBUSTIBLES FORESTALES DE GALICIA

¿De qué datos dispones?

- Altura y cobertura de la vegetación y espesor de hojarasca y mantillo
- Solo altura de la vegetación

< Anterior ● ● ● ● ○ □ Siguiente >

Figura 4. Selección del tipo de datos disponible (en el ejemplo la primera opción).



CALCULADORA DE COMBUSTIBLES FORESTALES DE GALICIA

Introduzca los datos

Datos de vegetación y de la capa de hojarasca y mantillo

Altura media (cm)	Cobertura (%)	Espesor LFH (cm)
70	98	3

Evaluar las variables de comportamiento del fuego

< Anterior ● ● ● ● ● □ Siguiente >

Figura 5. Introduciendo los datos de vegetación y de la capa de hojarasca y mantillo para estimación de cargas.

Como además pretendemos estimar el comportamiento del fuego potencial (opcional), marcar “Evaluar las variables de comportamiento del fuego” y se activarán las casillas para incluir la información de la pendiente, la velocidad del viento y la humedad del combustible fino muerto (Figura 6).



CALCULADORA DE COMBUSTIBLES FORESTALES DE GALICIA

Introduzca los datos

Datos de vegetación y de la capa de hojarasca y mantillo

Altura media (cm)	Cobertura (%)	Espesor LFH (cm)
70	98	3

VARIABLES FÍSICAS Y METEOROLÓGICAS

Pendiente (%)	Vel. del viento a 10 m (km/h)
10	5

HUMEDADES DEL COMBUSTIBLE

Fino muerto

Moderada (9%)

< Anterior ● ● ● ● ● □ Siguiente >

Figura 6. Introduciendo los datos de pendiente, velocidad del viento y humedad del combustible para estimación del comportamiento del fuego.

Finalmente, el aplicativo proporciona un listado con todos los datos de entrada para su revisión a la vez que los resultados de la simulación: cargas de combustible y comportamiento del fuego potencial estimado, incluyendo variables básicas como la velocidad de propagación, la intensidad lineal y la longitud de llama, así como la clasificación del incendio por su velocidad de propagación o longitud de llama (Figura 7). Es posible además mostrar la tabla de interpretación del comportamiento del fuego pulsando en la “i” que acompaña a esta última variable. Los resultados se pueden exportar a un archivo EXCEL.

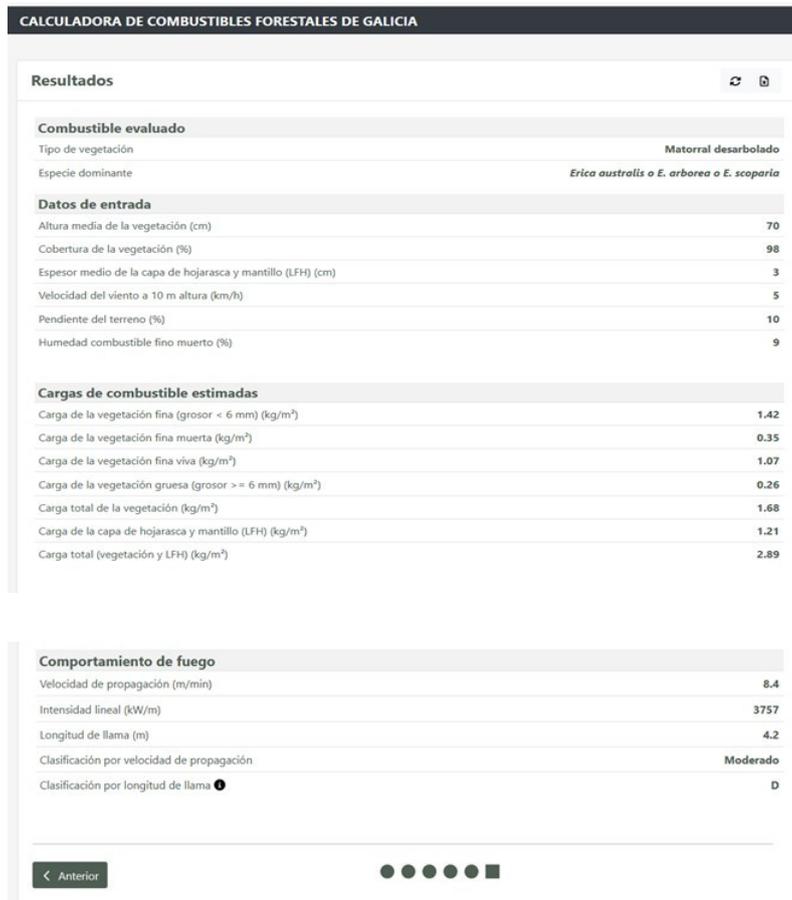


Figura 7. Resultados de la simulación: cargas de combustible estimadas (total y desglosadas por estrato, clase de tamaño y estado vivo/muerto) y características del comportamiento del fuego potencial (velocidad de propagación, intensidad lineal, longitud de llama y clasificaciones asociadas). Los pequeños iconos situados en la parte superior derecha de la figura permiten exportar los datos a un archivo EXCEL y reiniciar la simulación.

El aplicativo EXCEL se encuentra alojado en la web del grupo de investigación UXAFORES (<https://www.uxafores.com/>); concretamente en la parte inferior derecha de su página de inicio. Está constituido por una serie de Hojas a las que se accede a partir del menú principal (Figura 8).



Figura 8. Menú principal de la Calculadora en su versión EXCEL que permite el acceso a los diferentes módulos de evaluación de combustibles identificados con un código de colores: i) naranja: cálculo de cargas en comunidades desarboladas según VEGA et al. (2022a), Hojas 1 y 2; ii) verde: cálculo de cargas de sotobosque en pinares según VEGA et al. (2022b), Hojas 3, 3_2 y 4; iii) azul: evaluación por asignación modelos de combustible específicos para comunidades desarboladas (VEGA et al., 2024a).

En la Tabla 1 se identifican las Hojas asociadas a las comunidades desarboladas (Hojas 1 y 2) y a los pinares (Hojas 3, 3_2 y 4) así como las variables que estiman en función de la disponibilidad de datos. A modo de ejemplo, en la Figura 9 se muestra un ejercicio de estimación de cargas y simulación del comportamiento del fuego asociado en un pinar de radiata con sotobosque de matorral leñoso.

Tabla 1. Estimaciones de cargas y comportamiento del fuego incluidas en las Hojas 1 a 4 del aplicativo EXCEL en función del tipo de formación, disponibilidad de datos y tipo de sotobosque en pinares.

Comunidades desarboladas (matorrales y helechales) o agrupación de comunidades	
Hoja 1	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas a partir de la altura media de la vegetación, su cobertura y el espesor medio de la hojarasca y mantillo. • Variables de comportamiento del fuego y clasificación del incendio.
Hoja 2	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas a partir de la altura media de la vegetación.
Pinares con disponibilidad de datos de rodal y de datos de sotobosque	
Hoja 3	Hoja específica para pinares con sotobosque de matorral leñoso o helechal <ul style="list-style-type: none"> • Cargas de vegetación y de las capas de hojarasca y mantillo • Variables del dosel • Tipo de fuego (superficie o copas). • Variables y clasificación del comportamiento del fuego de superficie. • Umbrales de velocidad del viento para la iniciación del fuego de copas.
Hoja 3_2	Hoja específica para pinares con ausencia de vegetación en sotobosque



Figura 10. Clave dicotómica de asignación de modelos de combustible de matorral.

5. Conclusiones

El uso de la Calculadora en cualquiera de sus dos formatos puede facilitar a los gestores una correcta evaluación del combustible previa a la ejecución de tratamientos preventivos, así como también evaluar la eficacia de diferentes alternativas de gestión a la hora de reducir el riesgo y el comportamiento del fuego potencial. La calculadora, al igual que la FOTO-GUÍA de combustibles forestales de Galicia, es un sistema abierto de evaluación de combustibles que se piensa ir complementando con nuevos modelos según se vayan desarrollando y publicando. Por ejemplo, en la próxima versión de la Calculadora está prevista la incorporación de las ecuaciones de evolución de cargas de matorral en tojales y brezales altos en función de los años transcurridos tras perturbación que han sido publicadas recientemente; también las ecuaciones de estimación de cargas de sotobosque en frondosas cuya publicación está prevista en una comunicación presentada en este Congreso Forestal Español, o los modelos de combustible específicos para sotobosque bajo pinar en cuya elaboración estamos actualmente trabajando.

6. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a José Mario González González, desarrollador del aplicativo web. También a diversas personas del Centro de Investigación Forestal de Lourizán, en particular a Antonio Arellano, Elena Pérez y José R. González, así como a José Gómez, José M. Mendaña, Ángela López, Jesús Pardo, Emilia Puga, Josefa López y Dolores Vázquez por su contribución a la obtención y procesado de la información que ha posibilitado el desarrollo de los modelos implementados en la calculadora. También se agradece la extraordinaria ayuda de Mario López, Belén González y Javier Gallego.

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto PDC2021-120945-C55 (APPVIS4FIRE) pero no habría sido posible sin el apoyo de los proyectos previos 1FD97-1122-C06-05; INIA-AGL2001-1242-C04-02; INIA-RTA 2009-00153-C03 (INFOCOPAS); INIA-RTA2014-00011-C06 (GEPRIF) y INIA-RTA2017-00042-C05 (VIS4FIRE) financiados por el Plan Estatal de I+D+i cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de la Unión Europea; también por los proyectos: ENV4-CT96-0438 (Programa Fuego); ENV04-CT98-0763 (Programa Fuego2); EVG1-CT2001-00041 (FIRESTAR); EVR1-CT-2002-4002 (EUFIRELAB) y FP6-018505 (FIRE PARADOX), financiados por los Programas de Investigación



Medioambiental de la DGXII de la Comisión Europea (Unión Europea); y finalmente por el proyecto SAFTOR (SOE2/P2/E457) del Programa SUDOE Interreg IV B con fondos FEDER.

7. Bibliografía

ANDREAE, M.O.; 2019. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning –an updated assessment. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 19(13) 8523–8546.

ANDREWS, P. 2011. How to generate and interpret fire characteristics charts for surface and crown fire behavior (No. 253). US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

ANDREWS, P. 2014. Current status and future needs of the BehavePlus Fire Modeling System. *Int. J. Wildland Fire* 23 21–33.

ARELLANO, S., VEGA, J.A.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; ARELLANO, A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; VEGA-NIEVA, D.; PÉREZ, E. 2017. Foto-guía de Combustibles Forestales de Galicia y Comportamiento del Fuego Asociado. Andavira. 244 PP. Santiago de Compostela.

BYRAM, G.M. 1959. Combustion of forest fuels. In: Davis, K.P. (Ed.), *Forest Fire: Control and Use*. pp. 61-89. McGraw-Hill, New York.

FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M.; ALBERDI, I.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; CAÑELLAS, I.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D. 2013. Canopy fuel characteristics in relation to crown fire potential in pine stands: Analysis, modelling and classification. *Eur. J. For. Res.* 132, 363-377.

FINNEY, M.A.; 1998. FARSITE: Fire Area Simulator–model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden, UT: USDA For. Serv. Rocky Mountain Research Station. 47 p.

KEANE, R.E.; 2013. Describing wildland surface fuel loading for fire management: A review of approaches, methods and systems. *Int. J. Wildland Fire* 22 51–62.

KEANE, R.E.; 2015. *Wildland Fuel Fundamentals and Applications*. Springer International Publishing, Switzerland. 191 p.

MARM (2011) Cuarto Inventario Forestal Nacional. Comunidad Autónoma de Galicia (ed) Dirección General del Medio Natural y Política Forestal.



MORVAN, D.; DUPUY, J.L.; 2004. Modeling the propagation of a wildfire through a Mediterranean shrub using a multiphase formulation. *Combust. Flame* 138 199–210.

ROTHERMEL, R.C.; 1972. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels, Res. Pap. INT-115. Ogden, UT.40 p.

VAN WAGNER, C.E. 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Can. J. For. Res.* 7.1: 23-34.

VEGA, J.A. 1987. Pronóstico de comportamiento del incendio. En Textos del II Curso superior sobre defensa contra incendios forestales. ICONA. MAPA.

VEGA, J.A.; ARELLANO-PÉREZ, S.; FERNANDEZ, C.; FONTÚRBEL, T.; RUIZ, A.D.; 2021. Os incendios forestais do cambio global xa están aquí: Un desafío e unha ocasión para lograr unha resposta social consensuada. In: Seminario Galaico Portugués de Grandes Incendios Forestais. Consello de Cultura Galega, 50-119

VEGA, J.A.; ARELLANO-PÉREZ, S.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; FERNÁNDEZ, C.; JIMÉNEZ, E.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M.; VEGA-NIEVA, D.J.; BRIONES HERRERA, C.; ALONSO-REGO, C.; FONTÚRBEL, T.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D. 2022a. Modelling aboveground biomass and fuel load components at stand level in shrub communities in NW Spain. *For. Ecol. Manag.* 505, 119926.

VEGA, J.A.; ARELLANO-PÉREZ, S.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; FERNÁNDEZ, C.; JIMÉNEZ, E.; CUIÑAS, P.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M.; VEGA-NIEVA, D.J.; CASTEDO-DORADO, F.; ALONSO-REGO, C.; FONTÚRBEL, T.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D. 2022b. Modelling fuel loads of understory vegetation and forest floor components in pine stands in NW Spain. *For. Ecosyst.* 9, 100074.

VEGA, J.A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; ARELLANO-PÉREZ, S., FERNÁNDEZ, C.; CUIÑAS, P.; JIMÉNEZ, E.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M.; FONTÚRBEL, T.; ALONSO-REGO, C.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D. 2024a. Developing customized fuel models for shrub and bracken communities in Galicia (NW Spain). *J. Environ. Manage.* 351, 119831.

VEGA, J.A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; ARELLANO-PÉREZ, S., FERNÁNDEZ, C.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D. 2024b. Site quality models and fuel load dynamic equation systems disaggregated by size fractions and vegetative states in gorse and high heath shrublands in Galicia (NW Spain). *Fire.* 7, 126.

WEISE, D.R.; WRIGHT, C.S.; 2014. Wildland fire emissions, carbon and climate: Characterizing wildland fuels. *For. Ecol. Manage.* 317 26–40.

