



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-444

---

---

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Foto-guía de combustibles forestales de Galicia: combinando inventarios, imágenes y comportamiento del fuego

ARELLANO PÉREZ, S.<sup>1,2</sup>, VEGA HIDALGO, J.A.<sup>1</sup>, RUÍZ GONZÁLEZ, A.D.<sup>2</sup>, ARELLANO MANCILLA, A.<sup>1</sup>, ÁLVAREZ GONZALEZ, J.A.<sup>2</sup>, VEGA NIEVA, D.<sup>3</sup> y PÉREZ LAÍNS, E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Protección, Centro de Investigación Forestal de Lourizán (Pontevedra)

<sup>2</sup> Unidad de Gestión Forestal Sostenible. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez de Durango (México).

### Resumen

Los combustibles forestales son un elemento clave en el comportamiento del fuego. Su clasificación y cuantificación es una tarea esencial desde el punto de vista ecológico y de gestión de recursos naturales. Este trabajo presenta una clasificación de combustibles forestales de Galicia mediante el método de la foto-guía, ofreciéndose además un sistema para estimar el comportamiento del fuego en cada uno de los escenarios presentados. El estudio se basa en un número elevado de muestreos destructivos en el complejo de superficie e inventarios dasométricos. Con esa información se definieron cuatro grandes grupos (herbazales, matorrales, arbolado de hoja perenne y arbolado de hoja caduca), reflejando un total de 150 situaciones diferentes. La foto-guía está estructurada en forma de fichas para facilitar su manejo por los usuarios. Las fichas contienen fotografías e información detallada de las características del combustible ligada con predicciones de comportamiento de fuego (velocidad de propagación, longitud de llama, focos secundarios), y con aspectos operativos (tipo de ataque y medios apropiados para la extinción) asociados a cada situación. Se pretende que la información contenida en las fichas sea de utilidad a gestores e investigadores para generar cartografía de combustibles, evaluar el riesgo y el comportamiento del fuego asociado a los mismos y servir de base para testar nuevas tecnologías de cuantificación.

### Palabras clave

Incendios forestales, vegetación forestal, sistemas de clasificación, sistemas de cuantificación.

## 1. Introducción

Los combustibles forestales son la fuente de energía para la propagación del fuego y uno de los factores clave en su comportamiento y en sus efectos (BYRAM, 1959; ARNALDOS et al., 2004; VÉLEZ, 2009). Por ello, es primordial aumentar el grado de conocimiento sobre los mismos, y poder atender así de forma más eficiente a las tareas de prevención, extinción y restauración de zonas quemadas. Esto último es aún más evidente en Galicia, un territorio expuesto a una elevada recurrencia de incendios.

En este contexto, cobran especial interés los sistemas de evaluación y clasificación de combustibles (SANDBERG et al., 2001; ARROYO et al., 2008; GOULD & CRUZ, 2012; KEANE, 2015). Algunas de las clasificaciones desarrolladas en nuestro país son: la guía fotográfica de combustibles del antiguo Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA, 1987) en la que se realizó una adaptación de los trece modelos estándar de combustibles (ANDERSON, 1982) a nuestra región, los modelos de la Universidad de Córdoba (UCO40) (RODRÍGUEZ y SILVA, 2010) para combustibles de Andalucía y la guía de modelos de combustibles de Valencia (QUÍLEZ y CHINCHILLA, 2013). Estas dos últimas aproximaciones se basan en los modelos propuestos por SCOTT & BURGAN (2005). Actualmente los esfuerzos están centrados en la elaboración de cartografía de combustibles.

Las guías fotográficas de combustibles conocidas como foto-guías o foto-series (MAXWELL & WARD, 1976; KOSKI & FISHER, 1979; FISHER, 1981; OTTMAR et al., 1998; MORFÍN-RIOS et al., 2007; GOULD et al., 2007; LAVOIE et al., 2010; HINES et al., 2010; CRUZ et al., 2011) constituyen uno de los sistemas de evaluación del combustible de mayor interés a la hora de clasificar áreas extensas de vegetación tanto natural como plantaciones y estimar las características principales de su estructura. Además, algunas de estas foto-guías incorporan predicciones de comportamiento del fuego.

Las foto-guías pueden utilizarse en diversos campos de la gestión de los recursos naturales con muy diferentes finalidades (estudios sobre hábitats de fauna, fijación y ciclo del carbono, ciclo de nutrientes, competencia vegetal, utilización de biomasa y modelización del crecimiento, entre otros). En el ámbito de la gestión de incendios forestales las foto-series presentan indudables utilidades relacionadas con la construcción de modelos de combustible para su uso en la predicción de comportamiento de fuego, estimación de la humedad y del consumo de combustibles, generación de humo, evaluación de severidad y otros efectos tras incendios o fuegos prescritos. Las foto-series pueden ser igualmente útiles para la gestión de masas arboladas tanto en lo relativo a la planificación de tratamientos selvícolas con fines productivos como de prevención de incendios.

## 2. Objetivos

Los objetivos de la foto-guía de combustibles que se presenta son: i) realizar una primera clasificación de las principales situaciones de combustibles de Galicia con datos de sus características físicas más relevantes desde el punto de vista de los incendios forestales, y ii) ofrecer un sistema para determinar el posible comportamiento del fuego asociado a cada situación de combustible bajo un conjunto de escenarios definidos y combinando diferentes modelos de comportamiento del fuego.

## 3. Metodología

### 3.1 Selección de sitios de inventario

Se inventariaron 150 sitios (Figura 1, izquierda) recopilando un conjunto variado de situaciones de combustibles y comprendiendo un rango relativamente extenso de comunidades y formaciones vegetales de Galicia. La mayor parte de estas situaciones tienen una importante presencia espacial en el territorio gallego y son importantes desde el punto de vista de prevención de incendios, al verse afectadas frecuentemente por los mismos. La foto-guía se divide en 4 situaciones de pastizales, 6 de helechales, 56 de matorrales desarbolados y 83 de masas forestales (46 pinares, 17 eucaliptares y 20 masas de frondosas caducifolias).

Como fuentes principales para la elección de esas áreas de muestreo se ha contado con: a) el Cuarto Inventario Forestal Nacional (IVFN) de Galicia (MARM, 2011), b) Google Earth, c) Sig-PAC e IBERPIX, d) Mapas de las comunidades vegetales de Galicia (Izco et al., 1999 y 2006), y e) numerosos itinerarios de campo.

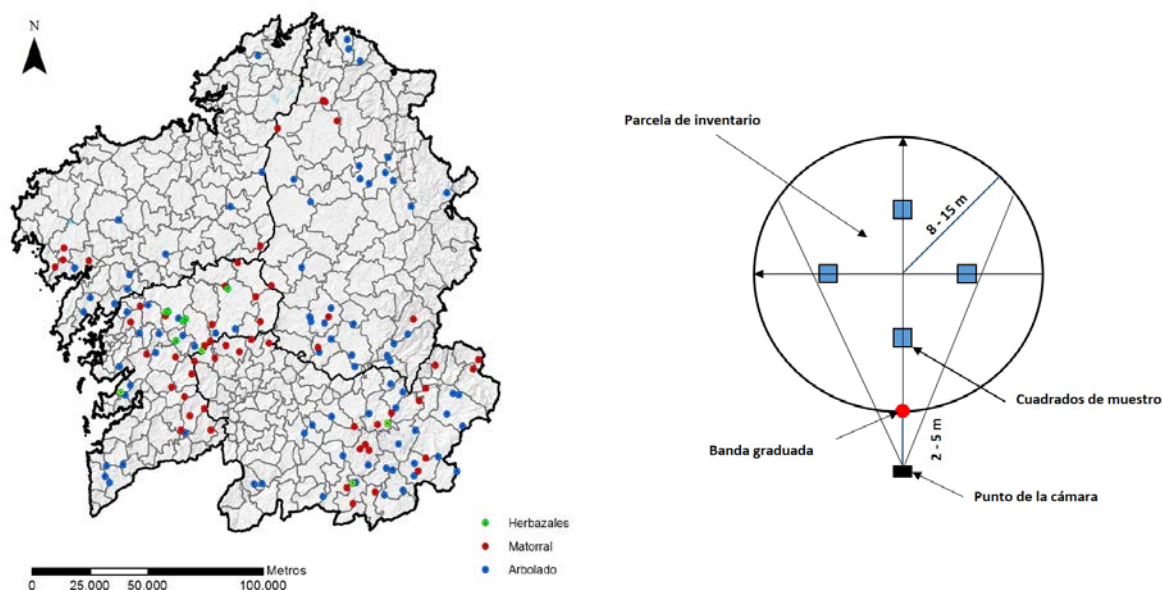


Figura 1. [Izquierda] Mapa de distribución espacial de los sitios inventariados en Galicia. [Derecha] Parcela circular de inventario del complejo de combustible. Incluye la disposición de los transectos y la ubicación de la cámara fotográfica, banda graduada y cuadrados de muestreo destructivo

### 3.2 Trabajos de campo

Para la toma de fotografías e inventario de combustible se establecieron parcelas circulares de radio variable (entre 8 y 15 m) en función de la densidad del arbolado. Se tomaron las coordenadas geográficas del centro de cada parcela y se determinó en ese punto orientación, altitud y pendiente del terreno. Con ayuda de cinta métrica, brújula y jalón se materializaron dos transectos de centro el de la parcela. El rumbo del primer transecto se determinó de forma aleatoria y el segundo se estableció perpendicularmente al primero. En un extremo de uno de los transectos se situó una banda graduada en unidades de 10 cm (color rojo/blanco), de 1 o 2 m de altura dependiendo de la altura de la vegetación. Una cámara fotográfica, provista de objetivo con distancia focal 16/108 mm, se posicionó a una distancia entre 2 y 5 m de la banda citada, para abarcar el sector donde posteriormente se realizó el inventario destructivo de combustible (Figura 1, derecha). En cada uno de los árboles del interior de la parcela se midió: diámetro normal, altura de inicio de copa seca, viva y total y ancho de copa. A nivel de rodal se determinó: densidad de la masa, edad del arbolado y fracción de cabida cubierta del estrato de copas.

El inventario destructivo de los combustibles del sotobosque se efectuó en cuatro cuadrados de 1x1 m (para altura de vegetación < 0,5 m) o 2x2 m (para altura de vegetación > 0,5 m) en el interior de la parcela circular (Figura 1, derecha). Los cuadrados fueron materializados con cuatro jalones y cinta métrica fijada a éstos delimitándose así un transecto, apoyado en el perímetro y una diagonal del cuadrado. En ese transecto se midió la cobertura lineal y la altura (cm) de inicio de las porciones secas, verde y total, cada 50 cm (Figura 2, izquierda). El porcentaje de cobertura lineal de la vegetación, para el conjunto de la parcela, se determinó midiendo la intercepción lineal de la vegetación del sotobosque sobre los dos transectos perpendiculares. Su altura se midió cada metro, a lo largo de los mencionados transectos, junto al espesor de la cubierta orgánica del suelo (cuando estaba presente), distinguiéndose la hojarasca fresca (capa L) de la parcialmente meteorizada o fermentada (capa F) y del humus bruto (capa H).

La carga de los distintos componentes del complejo de combustible se obtuvo mediante la corta y extracción del material presente en el interior de los cuadrados de muestreo (Figura 2, derecha). Una vez retirada la vegetación, se estimó visualmente el porcentaje de cobertura de los restos leñosos caídos (grosor < 75 mm) sobre la hojarasca. Para restos con diámetro superior a 75mm y cuando la vegetación del sotobosque era escasa, se utilizaron los dos transectos perpendiculares para estimar la carga de estos combustibles mediante el método de BROWN (1974). Tras la recogida de los restos leñosos caídos se midieron los espesores de la hojarasca y mantillo (L, F, H) en diez puntos dentro del cuadrado. Por último, se recolectó el material presente en cada una de estas capas.



Figura 2. [Izquierda] Cuadrado para muestreo destructivo del combustible bajo dosel arbóreo. [Derecha] Mediciones, corte y recogida de combustibles en un cuadrado de muestreo

Para las formaciones de herbáceas y especies arbustivas se empleó un sistema similar de inventario. En este caso los cuadros de corta y recogida de material oscilaron entre 1m<sup>2</sup> y 36m<sup>2</sup>, dependiendo de la envergadura de las plantas. En este caso, no se distinguieron diferentes capas en la cubierta orgánica del suelo.

### 3.3 Trabajos de laboratorio

Una vez en laboratorio el material colectado fue clasificado de cara a determinar las cargas de los diferentes componentes mediante su secado en estufa y pesado. Se clasificó el combustible por estratos, por tamaños, según su espesor o grosor (0-6mm, 6-25mm y 25-75mm) y por especies, diferenciando las partes secas y vivas. El material clasificado, se sometió a secado, en cámaras de desecación de aire forzado calentado a 105 ° C durante 24 horas para los combustibles finos y 48 horas para los gruesos. Posteriormente se pesó y se determinó la carga de combustible.

### 3.4 Tratamiento de los datos

#### *Características de los combustibles*

Dado que uno de los objetivos de esta primera versión de la foto-guía es servir de ayuda para conectar las características de los combustibles con el comportamiento del fuego, se incluyen solamente los valores de las cargas de aquellos componentes del complejo de superficie que habitualmente se consideran disponibles para la fase de llama: hojarasca y elementos finos (grosor < 6 mm) de la vegetación del sotobosque y de los restos leñosos caídos. Son además estos elementos los que intervienen en las ecuaciones empíricas de comportamiento del fuego utilizadas.

La disponibilidad de combustible en el dosel arbóreo se estimó en cada parcela mediante su densidad aparente (Canopy bulk density, *CBD*, kg/m<sup>3</sup>), calculada por el método “load over depth” (REINHARDT et al., 2006.) y por tanto asumiendo una distribución homogénea del material disponible



en el rodal (CRUZ et al., 2010). Para ello fue preciso estimar primero la carga de combustible disponible en la copa del rodal (Canopy fuel load, *CFL*, kg/m<sup>2</sup>) y dividir por su longitud media (considerada como la diferencia entre la altura media del arbolado y de la base de la copa).

El combustible disponible se estimó aplicando los porcentajes medios de consunción de las hojas, ramillos de grosor < 6mm y ramas de 6-25mm determinados por JIMÉNEZ et al. (2013) en fuegos de copa en pinares de Galicia. Para determinar las cargas de esos combustibles en la mayor parte de las especies consideradas se utilizaron las ecuaciones de DIÉGUEZ-ARANDA et al. (2009). Para más detalle consultar el libro de ARELLANO-PÉREZ et al., 2016.

#### *Comportamiento del fuego*

La foto-guía incluye una parte gráfica y tabular recogiendo información orientativa de características de comportamiento del fuego esperables en la situación de combustibles descrita bajo unas condiciones cambiantes de viento y pendiente y con una humedad de los combustibles moderadamente baja (6%). Estos datos no pretenden recoger toda la variedad de respuestas de la velocidad de propagación del fuego y la longitud de llama en ese complejo analizado, sino reflejar un rango de ellas bajo un conjunto de escenarios predeterminados. La respuesta probable del fuego en el combustible estudiado se ha determinado utilizando diferentes aproximaciones (ARELLANO-PÉREZ et al., 2016), según la estructura del complejo considerado.

Para la predicción de la velocidad de propagación se emplearon: a) para matorral desarbolado, matorral bajo arbolado y hojarasca una modificación de las ecuaciones empíricas de VEGA et al. (1998) y VEGA & FERNANDES (2006), b) para pastos la ecuación de CHENEY et al. (1998), c) para helechales un modelo específico construido según ROTHERMEL (1972) con BehavePlus 5.0 (Andrews, 2009). En cuanto al cálculo de la longitud de llama se utilizaron las ecuaciones empíricas de VEGA modificadas y la ecuación de BYRAM (1959).

Para la estimación de la velocidad de propagación del fuego activo de copas se usó el modelo de Cruz et al. (2003). Con respecto a la estimación del fuego pasivo de copas, sobre lo que hay un amplio desconocimiento (FINNEY, 1998), se recurrió a una variación lineal de la velocidad del fuego en función de la variación del viento entre los índices de entorchamiento (Torching index, TI) y de coronación (Crowning index, CI) definidos en Scott & Reinhardt (2001).

Los escenarios ambientales utilizados en las simulaciones se caracterizan por unas condiciones de viento, pendiente y humedad de los combustibles siempre iguales. De esta forma se consigue que las variables de comportamiento reflejen principalmente la influencia de la estructura de los combustibles, ayudando al usuario a asociar mejor los rasgos físicos de aquellos con la forma de actuación del fuego.

El viento se ha tomado como una variable continua en el rango 0-60 Km/h, medida a 10m de altura, fuera de la masa forestal. El valor del coeficiente de ajuste del viento también se ha indicado en las gráficas mencionadas. De la pendiente se han contemplado tres niveles: terreno llano (0%), moderado (20%) y alto (40%). La humedad de las partes muertas finas de la vegetación, restos finos caídos y la hojarasca (L) se ha fijado en 6%, correspondiéndose con una situación considerada frecuentemente como desfavorable de tipo medio (SCOTT & BURGAN, 2005). La humedad de las partes vivas de la vegetación de matorral y herbáceas, se ha fijado en 140% para vegetación herbácea y 130% para la leñosa.

Para el arbolado se han tenido en cuenta dos situaciones de humedad foliar, dependiendo de la zona en Galicia y basadas en muestreos periódicos realizados. Para el área de mayor influencia oceánica, comprendiendo las provincias de Pontevedra, Coruña, y parte occidental y norte de Lugo, se usó un valor de 130%. Para la provincia de Ourense y zona oriental y sur de Lugo se tomó un valor de 110%.

#### 4. Resultados

La clasificación de combustibles obtenida se muestra en las Tablas 1 y 2. El primer criterio clasificador de los combustibles ha sido el fisonómico, distinguiéndose cuatro grandes grupos: herbazales, matorrales, arbolado de hoja perenne y arbolado de hoja caduca. El siguiente criterio de clasificación ha sido florístico, diferenciándose subgrupos, dentro de cada grupo, por el género botánico. La especie dominante fue el criterio para separar comunidades dentro de los subgrupos. Dada la especial estructura de las formaciones arbóreas, con una estratificación de combustibles muy aparente, de clara influencia en el comportamiento del fuego (fuego de superficie/fuego de copas), se introdujo la clase natural de edad como diferenciador de cuarto nivel (Tabla 2), distinguiéndose así estructuras de masa muy diferentes.

Finalmente, el criterio para el último nivel de clasificación considerado: "situaciones de combustible" ha sido la carga de combustible fino de la vegetación de matorral o del sotobosque, respectivamente. Las fotografías dentro de cada situación están ordenadas por esas cargas, en sentido creciente.

Las tablas 1 y 2 resumen la clasificación expuesta y el orden en que aparecen en la foto-guía las situaciones de combustible consideradas, asignándole un acrónimo de identificación a cada una de ellas. Se ha utilizado una nomenclatura que recuerda a la botánica, con una letra inicial del género en mayúscula y la de la especie en minúscula, seguidas de un número correspondiente, progresivamente creciente de acuerdo a la ordenación de las imágenes por cargas crecientes. Ha parecido conveniente usar este criterio ya que la vegetación del sotobosque es un elemento esencial en la propagación del fuego y su carga un condicionante crítico de su intensidad. Por otro lado, es habitualmente, el estrato de combustible más fácilmente visible.

Tabla 1. Clasificación de los combustibles de áreas desarboladas

Grupos de combustible	Subgrupos de combustible	Especie dominante	Situaciones de combustible	
Herbazales	Pastizales	<i>Agrostis curtisii</i>	Ac 01 - Ac 2	
		<i>Pseudoarrenatherum longifolius</i>	PI 01 - PI 2	
	Helechales	<i>Pteridium aquilinum</i>	Pa 01 - Pa 06	
Matorrales	Brezales	<i>Erica umbellata</i>	Eu 01 - Eu 06	
		<i>Erica australis</i>	Ea 01 - Ea 08	
		<i>Erica arborea</i>	Ear 01	
		<i>Erica scoparia</i>	Es 01, Es 02	
		<i>Erica mackaiana</i>	Em 01, Em 02	
		Arandaneras	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Vm 01
		Carquesales (Carqueixais)	<i>Pterospartum tridentatum</i>	Pt 01 - Pt 07
		Tojares (Toxeiras)	<i>Ulex europaeus</i>	Ue 01 - Ue 11
	<i>Ulex breoganii</i>	Ub 01 - Ub 04		
	<i>Ulex gallii</i>	Ug 01		
	Retamares (Xesteiras)	<i>Cytisus multiflorus</i>	Cm 01 - Cm 04	
		<i>Cytisus striatus</i> / <i>C. scoparius</i>	Cs 01 - Cs 05	
	Piornales	<i>Genista obtusiramea</i>	Go 01	
	Jarales	<i>Cistus ladanifer</i>	Cl 01 - Cl 03	

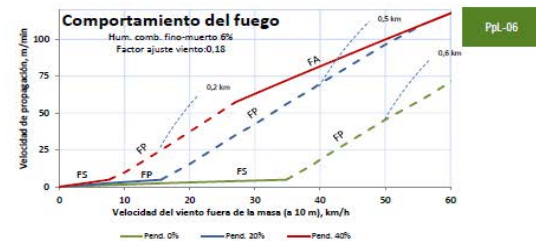
Tabla 2. Clasificación de los combustibles de masas arboladas

Grupo de combustible	Subgrupos de combustible	Especie dominante	Clase natural de edad	Situaciones de combustible	
Arbolado de hoja perenne	Pinares	<i>Pinus pinaster</i>	Monte bravo	PpMB 01, PpMB 02	
			Latizal	PpL 01 - PpL 09	
			Fustal	PpF 01 - PpF 08	
			<i>Pinus radiata</i>	Monte bravo	PrMB 01, PrMB 02
				Latizal	PrL 01 - PrL 06
				Fustal	PrF 01 - PrF 06
			<i>Pinus sylvestris</i>	Monte bravo	PsMB 01
				Latizal	PsL 01 - PsL 07
				Fustal	PsF 01 - PsF 05
Eucaliptares	<i>Eucalyptus globulus</i>	Brotos de cepa	EgB 01, EgB 02		
		Latizal	EgL 01 - EgL 09		
		Fustal	EgF 01 - EgF 06		
Arbolado de hoja caduca	Robledales (Carballeiras)	<i>Quercus robur</i>	Latizal	QrL 01 - QrL 04	
			Fustal	QrF 01 - QrF 04	
			<i>Quercus pyrenaica</i>	Monte bravo	QpMB 01
				Latizal	QpL 01 - QpL 04
	Sotos (Soutos)	<i>Castanea sativa</i>	Latizal	CsL 01	
			Fustal	CsF 01	
			Abedulares (Bidueirais)	<i>Betula alba</i>	Latizal



A Gudíña (Ourense)

ARBOLADO		SOTOBOSQUE			
Especie	<i>Pinus pinaster</i>	Especies	<i>Erica australis</i> , <i>Pterispartum tridentatum</i>		
Clase edad	Latizal	Altura inicio copa, m	8,9	Altura ponderada matorral, m	1,07
Edad, años	37	Altura media, m	12,8	Carga matorral <6 mm, Mg/ha	5,55
Densidad árboles/ha	1.655	Fracción cubierta cubierta, %	64	Carga restos leñosos caldos <6 mm, Mg/ha	1,52
Diámetro normal, cm	16,2	Densidad del dosel (CBD), kg/m³	0,21	Carga de hojarasca, Mg/ha	3,42



INTERPRETACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO PARA SU EXTINCIÓN						
Pend., %	Velocidad del viento (a 10 m), km/h, fuera de la masa					
	10	20	30	40	50	60
0	A	B	B	D	D	D
20	B	D	D	D	D	D
30	B	D	D	D	D	D
40	B	D	D	D	D	D

Nivel	Long. llama m	Inten. lineal kW/m	Descripción del comportamiento del fuego de superficie y uso de los medios
A	≤1	≤350	Es posible efectuar ataque directo con herramientas manuales
B	1-2,5	350-1.700	Es posible efectuar ataque directo con ayuda de vehículos bomba, bulldozer o medios aéreos
C	2,5-3,5	1.700-3.500	El calor, la emisión de pavesas, y el riesgo de fuego de copas, aconsejan efectuar ataque indirecto
D	>3,5	>3.500	Solo es posible el ataque indirecto

Figura 3. Ejemplo de ficha PpL-06 de un latizal de Pinus pinaster con sotobosque de brezo



En la figura 3 se muestra a modo de ejemplo la ficha de la situación de combustible PpL-06, que se trata de un latizal de *Pinus pinaster* con sotobosque de brezo.

La foto-guía incluye también, para cada situación de combustible, herramientas de tipo ábaco que permiten realizar estimaciones de comportamiento del fuego, y tablas que ayudan a interpretarlo y sugieren medios de extinción adecuados para los distintos niveles de intensidad lineal.

## 5. Discusión y conclusiones

La guía de este estudio está en línea con las foto-guías “Natural fuel photo series” del Fire and Environmental Research Applications Team (FERA) del Servicio Forestal de Estados Unidos (USDA Forest Service). Estas foto-guías constituyen un sistema abierto para la incorporación de nueva información sobre combustibles en ese país (WRIGHT et al., 2007). Al igual que ellas, nuestra foto-guía proporciona una información cuantitativa bastante detallada de la arquitectura del complejo de combustible, incluyendo el estrato del dosel arbóreo. En esto último se separa de clásicas guías anteriores que no ofrecían esa información (e.g. MAXWELL & WARD, 1976; KOSKI & FISHER, 1979; FISHER, 1981; OTTMAR et al., 1998) y otras más recientes (SCOTT & BURGAN, 2005; GOULD et al., 2007; BROSE, 2008) que tampoco lo hacen. La incorporación de datos sobre el estrato de copas de combustible resulta crítica para poder estimar el comportamiento del fuego de copas y guías recientes de Méjico (MORFÍN-RIOS et al., 2007) Canadá (LAVOIE et al., 2010) y Australia (CRUZ et al., 2011) los incluyen.

La principal fortaleza de nuestra herramienta es que aporta una información combinada de combustibles inventariados in situ (no estimada indirectamente) y del comportamiento esperado del fuego en ellos, bajo un conjunto de escenarios ambientales. Aunque otras colecciones de modelos de combustible suministran también predicciones de comportamiento (e.g. SCOTT & BURGAN, 2005), los valores cuantitativos de los parámetros asociados a las imágenes que ofrecen son estilizaciones de la realidad para ajustarlas a las predicciones del modelo de comportamiento utilizado. Como contraste, los valores de las variables estructurales en nuestro estudio son reales y la mayor parte de los modelos utilizados en la estimación del comportamiento son modelos empíricos que trabajan con esos valores reales. Además, una parte de ellos han sido desarrollados para los combustibles de Galicia, recogiendo información de fuegos reales experimentales y de incendios. Esto puede proporcionar al usuario una visión más realista de la conexión: imagen del complejo/comportamiento esperado, en línea con otras aproximaciones similares (GOULD et al., 2007; BROSE, 2008; CRUZ et al., 2011) y se espera más fiabilidad en sus predicciones de comportamiento del fuego, redundando en mayor seguridad y eficacia en las tareas de extinción.

Además, la presente foto-guía ha realizado un esfuerzo por integrar la dinámica del fuego de superficie y la del fuego de copas, al igual que las aproximaciones de FERNANDES (2009) y CRUZ et al. (2011), incluyendo en nuestro caso también datos sobre las distancias de aparición de focos secundarios, en el marco del nivel de conocimiento que actualmente existe sobre esos dos últimos procesos. Aunque la información disponible sobre ellos es todavía bastante limitada, se trata de dos aspectos de gran relevancia en la propagación y comportamiento del fuego y entendemos que serán útiles para los directores de extinción.

Está previsto que toda la información que contiene la foto-guía se incorpore a una base de datos que se podrá consultar en una aplicación-web, constituyendo un sistema abierto que permita la incorporación de nuevas situaciones. Sin duda esa es una ventaja y un inconveniente del sistema, del que participan las aproximaciones de este tipo. El inventario y cartografiado de la estructura de los combustibles forestales se enfrenta a importantes retos, derivados de su enorme variabilidad espacial y temporal y de la necesidad de un entendimiento mayor de la base ecológica de los combustibles (KEANE, 2015).

De cualquier forma la foto-guía supone un gran avance en la caracterización del combustible forestal en el noroeste peninsular, en relación a la calidad de la información suministrada, mientras supone una reducción del coste y carga de trabajo respecto a los inventarios tradicionales de combustible, también porque suministra datos para alimentar los modelos físicos que representan la expectativa más sólida para la predicción del comportamiento del fuego en los próximos años.

A modo de conclusión, se prevé que la foto-guía tenga numerosas aplicaciones en los campos de la prevención y extinción de incendios: elaboración de cartografía de combustibles, construcción de mapas de riesgo, determinación de zonas prioritarias de tratamientos de combustibles, apoyo en la ejecución de quemas prescritas, evaluación y diseño de tratamientos preventivos, predicción del comportamiento del fuego e incremento de la fiabilidad de los simuladores.

También podrá resultar de utilidad en los campos de investigación y formación, permitiendo el ajuste de modelos de características de combustibles a partir de variables de más fácil medición, funcionará como base para el testado de nuevas tecnologías (LIDAR, laser terrestre, dron) y tendrá utilidad didáctica a todos los niveles (académico, administración).

## 6. Agradecimientos

Los autores desean manifestar su agradecimiento a: J.R. Currás, M. López, J.L. Pardo, B. González, E. Puga, J. Gallego y M. López, por su ayuda en los inventarios de campo y tareas de laboratorio, llevados a cabo durante estos años. También a J. Silva y C. Fernández su ayuda con la determinación de algunas especies botánicas. Este trabajo se ha realizado en el marco de varios proyectos: INFOCOPAS (INIA-RTA 2009-00153-C03: “Protección contra incendios forestales: condiciones de inicio, propagación e impacto socioeconómico de los fuegos de copa en pinares”, cofinanciado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), del proyecto SAFTOR del programa europeo Interreg (SOE2/P2/E457: “Soluciones tecnológicas avanzadas para la mejora de la prevención, seguridad y eficacia, en materia de extinción de incendios forestales” con cofinanciación de la Xunta de Galicia y del FEDER/ERDFI y del proyecto GEPRIF (INIA-RTA 2014-00011-C06: “Reducción de la severidad del fuego mediante nuevas herramientas y tecnologías para la gestión integrada de la protección contra incendios forestales”, cofinanciado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España y el FEDER.

También se expresa reconocimiento por las ayudas recibidas de i) INDITEX, a través del Convenio con el Instituto Galego da Calidade Alimentaria, ii) del Programa de Ayudas para la Consolidación y Estructuración de Unidades de Investigación Competitivas del SUG en la modalidad de Grupos de Referencia Competitiva (2011-2013) de la Consellería de Educación y Ordenación Universitaria y cofinanciado con fondos FEDER concedida al grupo de investigación Unidade de Xestión Forestal Sostible (UXFS) iii) del Programa de Innovación y Mejora Forestal (2010-2020) de la Consellería de Medio Rural, y iv) de la Axencia Galega de Innovación (GAIN).

## 7. Bibliografía

ANDERSON, H.E.; 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Gen. Tech. Rep. INT-122. 22 pp. Ogden, UT.

ANDREWS, P.L.; 2009. BehavePlus fire modeling system, version 5.0: Variables. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-213WWW Revised. 111 pp. Fort Collins, CO.

- ARELLANO, S.; VEGA, J.A.; RUIZ, A.D.; ARELLANO, A.; ÁLVAREZ, J.G.; VEGA-NIEVA, D.J.; PÉREZ, E.; 2016. Foto-guía de combustibles forestales de Galicia. Andavira Editora. 224 pp. Santiago de Compostela.
- ARNALDOS, J.; NAVALÓN, X.; PASTOR, E.; PLANAS, E.; ZÁRATE L.; 2004. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. Ediciones Mundi-Prensa. 414 pp. Barcelona.
- ARROYO, L.A.; PASCUAL, C.; MANZANERA, J.A.; 2008. Fire models and methods to map fuel types: The role of remote sensing. *For. Ecol. Manage.* 256:1239-1252
- BROSE, P.H.; 2008. Photoguide for estimating fuel loading and fire behavior in Mixed-Oak-forest of the Mid-Atlantic region United States. USDA Forest Service, Gen. Tech. Rep. NRS-45. 108 pp.
- BROWN, J.K.; 1974. Handbook for inventorying downed woody material. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Gen. Tech. Rep. GTR-INT-16. 34 pp.
- BYRAM, G.M.; 1959. Combustion of forest fuels. En "Forest Fire Control and use" K.P. Davis. McGraw-Hill. New York.
- CHENEY, N.P.; GOULD, J.S.; CATCHPOLE, W.R.; 1998. Prediction of fire spread in grasslands. *Int. J. Wildland Fire* 8(1): 1-13
- CRUZ, M.G.; ALEXANDER, M.E.; WAKIMOTO, R.H.; 2003. Assessing the probability of crown fire initiation based on fire danger indices. *For. Chron.* 79:976-983
- CRUZ, M.G.; ALEXANDER, M.E.; 2010. Assessing crown fire potential in coniferous forests of western North America: a critique of current approaches and recent simulation studies. *Int. J. Wildland Fire* 19:377-398
- CRUZ, M.; DE MAR, P.; ADSHEAD, D.; 2011. Radiata pine plantation fuel and fire behaviour guide, CSIRO and GDH publication for the Australian Government Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. 25 pp. Canberra, ACT.
- DIEGUEZ, U.; ROJO, A.; CASTEDO, F.; ÁLVAREZ, J.; BARRIO, M.; CRECENTE, F.; GONZÁLEZ, J.M.; PÉREZ, C.; RODRÍGUEZ, R.; LÓPEZ, C.A.; BALBOA, M.A.; GORGOSO, J.J.; SÁNCHEZ, F.; 2009. Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Dirección Xeral de Montes. Consellería do Medio Rural. Xunta de Galicia. 259 pp.
- FERNANDES, P.; 2009. Combining forest structure data and fuel modeling to classify fire Hazard in Portugal. *Ann. For. Sci.* 415:1-9
- FINNEY, M.A.; 1998. FARSITE: fire area simulator-model development and evaluation. USDA Forest Service, Research Paper RMRS-RP-4.
- FISCHER, W.C.; 1981. Photo guide for appraising downed woody fuels in Montana forests: How they were made. USDA Forest Service, Intermt. For. and Range Exp. Stn. Gen. Tech. Res. Note INT-299. 12 pp. Ogden, Utah
- GOULD, J.S.; MCCAWE, W.L.; CHENEY, N.P.; ELLIS, P.F.; MATTHEWS, S.; 2007. Field Guide-Fuel assessment and fire behaviour prediction in dry eucalypt forest. Ensis-CSIRO, Canberra, ACT and Department of Environment and Conservation, Perth, WA. 82 pp.
- GOULD, J.; CRUZ, M.; 2012. Australian Fuel Classification: Stage II. Ecosystem Sciences and Climate Adaption Flagship, CSIRO. 108 pp. Canberra, Australia.

HINES, F.; TOLHURST, K.G.; WILSON, A.A.G.; MCCARTHY, G.J.; 2010. Overall Fuel Hazard Assessment Guide, fourth ed. Department of Sustainability and Environment. 41 pp. Melbourne, Victoria..

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

IZCO, J.; AMIGO, J.; GARCÍA-SAN LEÓN, D.; 1999. Análisis y clasificación de la vegetación leñosa de Galicia. *Lazaroa* 20: 29-47.

IZCO, J.; RAMIL, P.; DIAZ, R.; SANCHEZ, J.M; 2006. Brezales: Biodiversidad, usos y conservación. *IBADER* 1-2:5-24

JIMÉNEZ, E.; VEGA, J.A.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; GUIJARRO, M.; ALVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; MADRIGAL, J.; CUIÑAS, P.; HERNANDO, C.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M.; 2013. Carbon emissions and vertical pattern of canopy fuel consumption in three *Pinus pinaster* Ait. active crown fires in Galicia (NW Spain). *Ecol. Eng.* 54:202–209

KEANE, R.E.; 2015. Wildland Fuel Fundamentals and Application. Springer. 191pp.

KOSKI, W.H.; FISCHER, W.; 1979. Photo series for appraising thinning slash in north Idaho. USDA Forest Service, Intermt. For. and Range Experiment Station, Gen. Tech. Rep. INT-46. 49pp. Ogden, Utah.

LAVOIE, N.; ALEXANDER, M.E.; MACDONALD, S.E.; 2010. Photo Guide for Quantitatively Assessing the Characteristics of Forest Fuels in a Jack Pine–Black Spruce Chronosequence in the Northwest Territories. Northern Forestry Centre Canadian Forest Service. 51 pp. Edmonton, Alberta.

MAXWELL, W.G.; WARD, F.R.; 1976. Photo series for quantifying forest residues in the: coastal Douglas-fir-hemlock type, coastal Douglas-fir-hardwood type. USDA Forest Service, Pacific Northwest Gen. Tech. Rep. PNW-51. 103 pp. Portland, OR.

MARM; 2011. IV Inventario Forestal Nacional. Comunidad Autónoma de Galicia. Dirección General del Medio Natural y Política Forestal.

MORFÍN-RÍOS, J.E.; ALVARADO-CELESTINO, E.; JARDEL-PELÁEZ, E.J.; VIHANEK, R.E.; WRIGHT, D.K.; MICHEL-FUENTES, J.M.; WRIGHT, C.S.; OTTMAR, R.D.; SANDBERG, D.V.; NÁJERA-DÍAZ, A.; 2007. Photo Series for Quantifying Forest Fuels in México: Montane Subtropical Forests of the Sierra Madre del Sur, and Temperate forests and montane shrubland of the northern Sierra Madre Oriental. Pacific Wildland Fire Sciences Laboratory Special Pub. No. 1. University of Washington, College of Forest Resources. 93 pp. Seattle, WA.

OTTMAR, R. D.; VIHANEK, R. E.; WRIGHT, C. S.; 1998. Stereo photo series for quantifying natural fuels. Volume I: mixed-conifer with mortality, western juniper, sagebrush, and grassland types in the Interior Pacific Northwest. PMS 830. National Wildfire Coordinating Group, National Interagency Fire Center. 73 pp. Boise, Idaho.

QUÍLEZ MORAGA R.; CHINCHILLA REDON, S.; 2013. Modelos de combustible en la provincia de Valencia. En: S.E.C.F. (ed.), Actas del 6º Congreso Forestal Español. Sociedad Española ed. Ciencias Forestales: Vitoria (España).

REINHARDT E.D.; SCOTT, J.H.; GRAY, K.L.; KEANE, R.E.; 2006. Estimating canopy fuel characteristics in five conifer stands in the western United States using tree and stand measurements. *Can J. For. Res.* 36:2803–2814

RODRIGUEZ Y SILVA, F.; MOLINA-MARTINEZ, J.R.; 2010. Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos. Universidad de Córdoba. 90 pp.

ROTHERMEL, R.C.; 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service, Res. Pap. INT-115. 40 pp. Ogden, Utah.

SCOTT, J.H.; BURGAN, R.E.; 2005. Standard Fire Behaviour Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. 72 pp. Fort Collins, CO.

SCOTT, J.H.; Reinhardt, E.D.; 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Res. Pap. RMRS-RP-29. 59 pp. Fort Collins, CO.

SANDBERG, D.V.; OTTMAR, R.D.; CUSHON, G.H; 2001. Characterizing fuels in the 21<sup>st</sup> Century. *Int. J. Wildland Fire* 10:381-387

VAN WAGNER, C.E.; 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Can. J. For. Res.* 7: 23-34

VEGA, J.A.; CUIÑAS, P.; FONTÚRBEL, M.T; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; FERNÁNDEZ, C.; 1998. Predicting fire behaviour in Galician (NW Spain) shrubland fuel complexes. In Proc. 3rd Intern. Conf. Forest Fire Research. Luso, Portugal, Viegas, D.X. (ed.), ADAI. pp: 713-728.

VEGA, J.A.; FERNANDES, P.; CUIÑAS, P.; FONTURBEL, T.; PÉREZ, J.R.; LOUREIRO, C.; 2006. Fire spread analysis of early summer field experiments in shrubland fuel types of northwestern Iberia. In Proc. V Intern. Conf. Forest Fire Research. Figueira da Foz, Portugal. *For. Ecol. Manage.* 234S.S102:11 pp.

VÉLEZ, R. (Coord.); 2009. La Defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGraw-Hill. Madrid.

WRIGHT, C.S.; VILNAKEK, R.E.; OTTMAR, R.D.; EAGLE, P.C; 2007. Digital Photoseries (Natural fuels photo series). JFSP Research Project Reports. Paper 116. 24 pp.