

Proyecto La producción, actualización y mejora de las cartografías de formaciones forestales, modelos de combustible y erosión de suelos

Actividad Elaboración de cartografía de modelos de combustible forestales

Documento Memoria Técnica

Fecha Agosto 2015

Elaborado por Cartográfica de Canarias, S.A.
(GRAFCAN)



CONTENIDO

Introducción y objetivos generales	1
Sensores remotos: LiDAR	1
Aplicación de tecnología LiDAR	1
Objetivo final	2
Análisis de los modelos de combustible de Canarias.....	3
Superficie objeto de estudio inicial	7
Ánalysis de la composición vegetal: mapa de formaciones forestales	10
Definición de Formaciones Forestales	10
Creación del mapa de formaciones forestales.....	13
Superficie Objeto de Estudio Definitiva	15
Reprocesado de datos LiDAR	18
Datos de Partida	19
Raster de estructura	19
Mapa de formaciones forestales.....	19
Elaboración de los algoritmos de decision	22
Consideraciones previas.....	22
Metodología para la asignación de los modelos de combustible	22
Determinación de la continuidad vertical del combustible	23
Modelos de decisión	24
Equivalencia entre modelos de combustible canarios y los modelos de combustible NFFL de Rothermel.....	39
Resultados	41
Conclusiones.....	44
Algunas consideraciones	44
Aplicaciones y próximos pasos.....	45

Introducción y objetivos generales

En el año 2002 se definieron unos modelos de combustible concretos para la Isla de Tenerife a partir de los 13 modelos de Rothermel. En total se crearon a nivel teórico un total de 25 modelos de combustible, la mayoría de ellos siendo en realidad una sub-clasificación de los clásicos de Rothermel.

Estos modelos creados para la isla de Tenerife, son fácilmente extrapolables al resto de las Islas forestales de Canarias, dado que Tenerife es la isla más representativa y que recoge la mayoría de los ecosistemas vegetales terrestres que se dan en el resto de la geografía canaria.

La caracterización de los modelos de combustible se lleva a cabo mediante el estudio de la cantidad de material combustible vivo y muerto, la composición del ecosistema vegetal, y la continuidad vertical y horizontal.

Las diferentes experiencias realizadas en el pasado para la generación de cartografías de modelos de combustible se han basado en una mezcla de fotointerpretación en oficina y asignación de modelos en campo. Este hecho conlleva por un lado una **alta inversión económica** y de recursos humanos en la movilización de equipos de campo y una **difícil actualización** de los resultados en el tiempo; es decir las cartografías se quedan obsoletas según los ecosistemas vegetales se ven afectados por diferentes fenómenos (incendios, plagas, vendavales, derrumbes, cortas y tratamientos silvícolas) e incluso por la propia evolución natural de los mismos.

Sensores remotos: LiDAR

Los **sensores remotos**, tales como el **LiDAR**, capturan de forma masiva y continua datos tridimensionales de las distintas superficies del territorio. Con esta tecnología se obtienen una mayor densidad de medidas de las superficies que con cualquier otro sistema conocido. La aplicación de datos procedentes de sensores remotos, como los sensores LIDAR, permiten capturar de forma masiva y continua datos tridimensionales de las distintas superficies del territorio.

Las Islas Canarias poseen una situación privilegiada ya que cuenta con datos obtenidos de forma periódica procedente de diferentes sensores remotos, tales como sensores LiDAR (con una periodicidad en torno a 1,5-2 años) y ortofotografía aérea (periodicidad anual).

La tecnología LiDAR proporciona de forma relativamente directa un volumen enorme de información de la estructura del bosque ya que cada uno de los retornos del láser lo podemos traducir en una altura de la vegetación sobre el suelo y el porcentaje de pulsos laser que no llegan al suelo son una medida muy exacta de la fracción de cabida cubierta de la vegetación. A partir de esta información es posible cuantificar variables tan importantes para definir modelos de combustibles como son la densidad de combustibles en copa o las **alturas y coberturas de arbolado y matorral**.

Aplicación de tecnología LiDAR

Los estudios realizados por diferentes equipos de investigación para aplicar datos LiDAR en la elaboración de cartografía de modelos de combustible, se basan en la generación de **modelos**

expertos (ecuaciones) que a partir de diferentes variables derivadas del procesado de datos LiDAR permiten asignar a una superficie dada un modelo de combustible.

Estas metodologías **también necesitan del levantamiento de parcelas en campo** en las que se obtienen datos y parámetros para la caracterización de los modelos de combustible. Posteriormente se procede a llevar a cabo diferentes ajustes estadísticos con el fin de establecer las relaciones entre las diferentes variables procedentes del procesado LiDAR y los parámetros que definen y caracterizan los modelos de combustible, esto es los modelos de experto. Así, aplicando los modelos expertos es posible la generación de mapas de combustible.

Este tipo de metodologías obtienen a priori mejores resultados que la técnica tradicional: fotointerpretación + campo; **sin embargo siguen necesitando de inversión en trabajo de campo** que encarece, si bien en menor cuantía que las metodologías tradicionales, la obtención de resultados cartográficos.

Objetivo final

El **objetivo final** es, por tanto, obtener una **cartografía de modelos de combustible** para las 5 islas forestales que no necesite trabajo de campo y por tanto **que el grado de inversión para su consecución sea mínimo**.

Para ello se pretende la combinación, análisis y estudio de datos procedente de sensores remotos, así como de información ya existentes. En concreto se persigue la **combinación de la información procedente del procesado de datos LiDAR** (que aporta información de estructura y continuidad de los combustibles) **con el Mapa de Vegetación de Canarias** (que informa sobre la composición de los ecosistemas vegetales) a escala 1:20.000 finalizado en 2003 y publicado en 2006.

Esta es una metodología que presenta las siguientes **desventajas**:

- no tener en cuenta la **presencia y proporción de combustibles vivos y muertos**, o su distribución en **finos y gruesos**
- si bien la información de estructura posee un grado de fiabilidad muy alta, los resultados **dependen de disponer de buenos mapas de vegetación** con un moderado nivel de detalle y una mínimo grado de actualización

Por otro lado las **ventajas** fundamentales de la metodología a desarrollar son las siguientes:

- **Bajo coste:** se aprovechan recursos existentes de otros trabajos. Se trata de una metodología de muy bajo coste, ya que por un precio muy ajustado se aborda un trabajo a escala de las 5 islas forestales de Canarias.
- **Elevado nivel de detalle.** Se aprovecha la información LiDAR capturada en los vuelos de GRAFCAN para generar una cartografía de modelos de combustible de alta resolución (celdas de 25x25 m), mucho mayor de la que se está utilizando en la actualidad.
- **Actualizaciones futuras a bajo precio** aseguradas. GRAFCAN realiza vuelos periódicos cada año o año y medio. Además el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea prevé actualizaciones cada 2 o 3 años, lo que supone que está previsto que exista revisión de la información base de trabajo con una periodicidad muy alta.

Análisis de los modelos de combustible de Canarias

Los modelos de combustible forestal se clasifican siguiendo como criterio fundamental el estrato vegetal que va a condicionar la propagación del fuego. La clasificación de modelos de combustible de Canarias utilizada fue definida en el año 2002 para caracterizar los modelos de combustible existentes en la isla de Tenerife. Esta clasificación mantiene la estructura general de los modelos NFFL de Rothermel a nivel de clases y grupos, es decir en lo que se refiere a la diferenciación básica según el tipo de formación vegetal previa a los criterios estructurales.

Siguiendo este criterio, los combustibles forestales se clasifican en tres grandes categorías (clases), y cada una a su vez en grupos que recogen complejos de vegetación con estructura parecida. A cada uno de estos complejos de combustible forestal se le denomina modelos de combustible.

Clase I. Complejos de combustible en los que el fuego se propaga a través del **estrato herbáceo**.

Grupo 1. Formaciones herbáceas tipo pastizal.

Grupo 2. Formaciones vegetales en las que existe un estrato arbustivo poco denso, pero en la que el estrato propagador fundamental es el herbáceo.

Grupo 3. Formaciones herbáceas de pasto muy denso, fuerte y alto, tipo cañaverales o carrizales.

Clase II. Complejos de combustible en los que el fuego se propaga a través del **estrato arbustivo**

Grupo 4. Formaciones arbustivas de matorral muy denso y muy alto, impenetrable.

Grupo 5. Formaciones de matorral en las que el estrato arbustivo es de pequeña talla.

Grupo 6. Formaciones arbustivas de matorral alto, pero de densidades variables.

Grupo 7. Formaciones arbustivas bajo masas arboladas.

Clase III. Complejos de combustible en los que el fuego se propaga a través de los **restos que existen en masas arboladas**.

Grupo 9. Masas arboladas en las que el estrato propagador del fuego es la hojarasca.

Grupo 10. Masas arboladas en las que el estrato propagador del fuego son los restos leñosos que hay en el suelo.

A partir de la clasificación en grupos, la discriminación entre modelos es específica para las formaciones vegetales identificadas en la isla de Tenerife, en la que se considera que están representadas la mayoría de los ecosistemas presentes en el resto de las islas Canarias. La caracterización de los modelos de combustible se lleva a cabo mediante el estudio de la composición del ecosistema vegetal, la cantidad de material combustible vivo y muerto, y la continuidad vertical y horizontal. Una vez caracterizados (mediante muestreos en campo, medición de variables en laboratorio, etc.) y analizados los parámetros de comportamiento del fuego asociados (mediante simulación con BEHAVE en escenarios tipo de viento y humedad), los combustibles se tipifican en subgrupos, que en algún caso excepcional se subdividen a su vez en dos tipos, los cuales representan los 25 modelos de combustible de la clasificación.

Cada modelo de combustible incluye una descripción de la composición y estructura del complejo, y cómo influye en el comportamiento del fuego, así como una tabla y análisis de los parámetros

específicos de comportamiento del fuego. En las siguientes tablas se resumen las definiciones básicas de los modelos de combustible de la clasificación:

Clase I	Modelo de combustible	Descripción
Grupo 1 PASTOS FLOJOS-BAJOS	1.A	Formación herbácea continua de pastizales naturales o cultivos de altura menor a 1 m. Cobertura de matorral FCC<25%. El incendio se propagará por el pasto seco. Carga total de combustible bajas (3 tn/ha).
Grupo 2 PASTOS FLOJOS CON MATORRAL	2.A	Pastizal continuo, fino y seco con matorral que puede ocupar entre el 30-60% de la superficie. El estrato propagador es el pasto pero la fracción fina del matorral contribuye en la propagación y consolidación del fuego
Grupo 3 CAÑAVERALES	3.A	Formaciones muy densas de vegetación herbácea o leñosa asociada a zonas inundadas o pantanosas. La fracción de cubida cubierta es prácticamente total, la altura es superior a 2 m y las cargas totales de combustible son muy elevadas (60 tn/ha).

Clase II	Modelo de combustible	Descripción
Grupo 4 MATORRAL MUY DENSO (IMPENETRABLE)	4.A	Matorral fundamentalmente de brezo asociado a formaciones de Monteverde. Alturas superiores a 2 m y FCC > 75%.
	4.B	Matorral de especies inflamables como codeso, brezo y jara. Cargas elevadas de elementos finos y vivos. Alturas superiores a 2 m y FCC > 75%.
	4.C	Matorral invasor tras incendio o abandono de terrenos agrícolas. Mosaico de especies como zarza, jara, helecho, regenerado de pino o brezo. Alturas superiores a 1.6 m y FCC > 75%.
Grupo 5 MATORRAL BAJO	5.A	Matorral de especies moderadamente termófilas inflamables (codeso, retamas, escobones, etc.). Presencia de estrato herbáceo que contribuye en la propagación del fuego. Densidades medias (FCC entre 30 y 60 %).
	5.B	Matorral termófilo asociado frecuentemente a la presencia de suculentas. Densidades medias-altas (FCC > 50%).
	5.C	Matorral de especies asociadas a alta montaña: piornales y hierba pajonera. Densidades altas (FCC > 50%).
	5.D	Formaciones lineales de especies inflamables o con elevada carga de elementos finos muertos en pie (zarzas, helechos secos, etc.). Asociado a cultivos abandonados. Densidades elevadas (FCC > 75%).
Grupo 6 MATORRAL ALTO	6.A	Matorral denso, invasor de tierras agrícolas abandonadas. Distribuciones lineales o a golpes. Predominio de zarzas y helechos. Formación asociada a arbolado de castaño. Alturas de 1 a 1.5 metros y FCC globales > 75 %.
	6.B	Matorral termófilo con especies suculentas. Alturas superiores a 1.5 metros. FCC 50-75 %.
	6.C	Matorral termófilo, inflamable, denso de especies como el escobón, la retama, el brezo etc. Formaciones monoespecíficas o mixtas. Alturas superiores a 1.5 metros y FCC > 50 %.

Clase II	Modelo de combustible	Descripción		
Grupo 7 MATORRAL BAJO ARBOLADO	7.A	Sotobosque de eucaliptar con especies como zarzas, brezos, helechos, etc. Elevada carga de elementos muertos, sobretodo hojarasca y finos. Alturas de 1.5 a 2.5 m y FCC > 60%.		
	7.B	Monteverde muy denso con FCC > 75% y alturas entorno a los 2 m. Abundancia de necromasa en los estratos.		
	7.C	Pinar con sotobosque fundamentalmente de brezo. Alturas superiores a 1.6 metros.	7.C₁	Cargas elevadas de elementos finos muertos. FCC > 75 %.
			7.C₂	Cargas menores. Gran cantidad de pinocha colgante. Estructura del matorral con grandes espacios de aire. FCC > 50 %.
	7.D	Pinar con sotobosque fundamentalmente de brezo y especies de Monteverde	7.D₁	El sotobosque es en su mayoría de brezo (FCC > 50 %). El conjunto presenta una densidad elevada. Alturas mayores de 1.6 m.
			7.D₂	Especies arbustivas de Monteverde más abundantes o en misma proporción que el brezo. El conjunto de la formación es menos denso, con espacios libres. Pinocha colgante. Alturas mayores de 1.5 m.
	7.E	Pinar con sotobosque dominado por especies de Monteverde (FCC > 50 %). Las especies acompañantes (brezo, etc.) con FCC < 20%. En general alturas superiores a 1.5 m. Pinocha colgante.		
	7.F	Pinar con sotobosque bajo de diferentes especies y densidad variable	7.F₁	Matorral de brezo, regenerado de pino, etc. Alturas menores de 1.6 m y FCC < 50 %.
			7.F₂	Sotobosque muy denso de especies inflamables como el codeso o el brezo. Alturas menores de 1.2 m y FCC >60 %.
	7.G	Pinar con sotobosque de especies termófilas y/o xerófilas (labiadas, jaras, etc.). Densidades altas (FCC > 70 %) y alturas superiores a 1.2 m.		

Clase III	Modelo de combustible	Descripción
Grupo 9 BOSQUE LIMPIO	9.A	Monteverde limpio. El estrato propagador es la hojarasca, la capa de humus o matorral de helechos.
	9.B	Pinar limpio. Cobertura de la pinocha mayor del 50 %. Asociado a densidades de pino no muy altas.
Grupo 10 BOSQUE SUCIO	10.A	Bosque sucio con restos naturales (plagas, enfermedades)
	10.B	Bosque con restos procedentes de tratamientos selvícolas (troncos, ramas, etc.)

En la clasificación se incluye además un modelo de combustible adicional denominado **11.A**, que por las particularidades de la vegetación asociada no está en principio asociado a ninguno de los grupos ni clases anteriores, y que representa a las **formaciones xerófilas** características de las islas.

Superficie objeto de estudio inicial

Durante el año 2013 se desarrolló, mediante el **procesado de datos LiDAR**, cartografía de **estructura de vegetación de forma continua y precisa** para toda la superficie forestal de las islas forestales de Canarias, esto es en torno a 356.000 ha lo que supone un 72,1 % del total de la superficie de estas islas.

Para elegir la superficie objeto de estudio se prefirió la utilización de la **actualización del Mapa Forestal de España llevada a cabo en 2009** por el Ministerio de Medio Ambiente, frente al Mapa de Vegetación de Canarias, dado que éste último presentaba una cartografía más antigua (culminada en el año 2003).

De la actualización del Mapa Forestal de España, se seleccionaron todas las superficies clasificadas como forestales (exceptos las identificadas como “Sin vegetación”), teniendo especial cuidado de que ninguna zona considerada ZARI (Zonas de Alto Riesgo de Incendios Forestales) se quedara fuera del estudio. El resultado de este proceso de selección dio como resultado las siguientes superficies objeto de estudio:

Isla	Sup. Objeto estudio (ha)	Sup. TOTAL ISLA (ha)
Tenerife	139.794,87	203.438
La Gomera	32.757,92	36.976
La Palma	53.788,74	70.832
El Hierro	17.815,00	26.871
Gran Canaria	112.482,00	156.010
Total	356.638,53	494.127

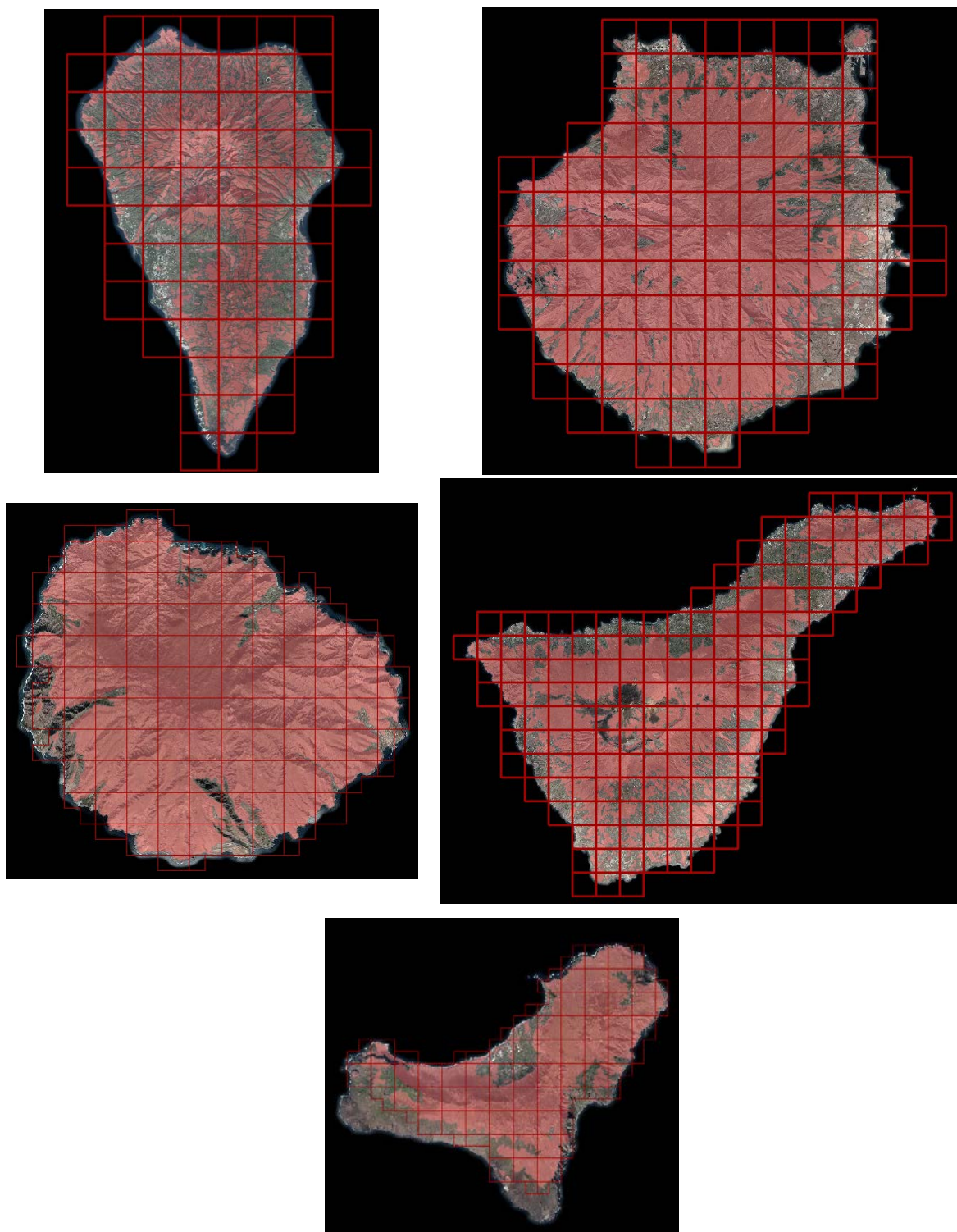
Total de superficie objeto estudio en el procesado de datos LiDAR para obtener cartografía forestal (año 2013)

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de cartografía de estructura de vegetación se trabajó con los datos LiDAR procedentes del vuelo más actual para ese momento. En concreto se utilizaron los datos obtenidos en los siguientes vuelos realizados por la empresa GRAFCAN:

- **El Hierro:** Campaña 2011: Fechas de vuelo: Septiembre 2011.
- **La Gomera:** Campaña 2012: Fechas de vuelo: Octubre 2012.
- **La Palma:**
 - Toda la isla menos la Caldera de Taburiente: Campaña 2011. Fechas de vuelo: Septiembre-Octubre 2011.
 - Caldera de Taburiente: Campaña 2012: Fechas de vuelo: Enero 2013.
- **Tenerife:** Campaña 2012. Fechas de vuelo: Octubre 2012 – Enero 2013.
- **Gran Canaria:**
 - Toda la isla menos zona central (cotas por debajo 1800m): Campaña 2011. Fechas de vuelo: Septiembre-Octubre 2011.
 - Zona central de la isla: Campaña 2012. Fechas de vuelo: Octubre 2012- Enero 2013. (en el caso de Gran Canaria existía un pequeño hueco sin información LiDAR de 2012 que ha sido completado con la información disponible de la campaña de 2013.)

La siguiente imagen, muestra en rojo la superficie objeto de estudio en la obtención de cartografía forestal, solapada con los bloques de datos LiDAR utilizados



Superficie objeto de estudio solapa con los bloques LiDAR en el procesado de datos LiDAR (año 2013)

Fuente: Elaboración propia

Estas superficies **son las que se tomaron inicialmente como objeto de estudio para el desarrollo de los mapas de combustibles del presente estudio pero**, como se explica en epígrafes posteriores, **hubo que realizar algunas modificaciones sobre las mismas.**

Ánalysis de la composición vegetal: mapa de formaciones forestales

Según la metodología propuesta, para obtener cartografías de modelos de combustible, se necesita del análisis combinado de información procedente de la estructura de la vegetación (datos LiDAR) y de la composición de la misma (mapa de vegetación)

Las cartografías existentes para Canarias relacionadas con la composición de la vegetación son:

- Mapa Forestal de España actualizado al año 2009, a escala 1:50.000, elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente
- Mapa de Vegetación de Canarias, a escala 1:20.000, desarrollado por Grafcan desde el año 1999 hasta el 2003 y publicado en 2006.

El Mapa de Vegetación de Canarias, posee una **escala mayor**, además de una **caracterización fisionómica de los ecosistemas vegetales** (frente a una descripción de especies principales que presenta el Mapa Forestal). Estas dos razones conllevan **la elección del Mapa de Vegetación como cartografía para analizar la composición**.

Sin embargo, dada la fecha en que se elaboró, se considera que la cartografía que presenta el Mapa de Vegetación de Canarias se encuentra obsoleta para los fines perseguidos en la presente asistencia. Dado que dicha obsolescencia condiciona los resultados a obtener, Grafcan lidera un proceso de actualización del mismo.

La actualización llevada a cabo del mapa de vegetación, se ha realizado en exclusiva teniendo como finalidad que sirva como fuente de entrada útil para la generación de cartografía de modelos de combustible, no siendo a priori válida para otros ámbitos en los que se viene empleando. Al resultado de esta actualización se ha preferido cambiarle el nombre para evitar confusiones, pasándose a denominar: **Mapa de Formaciones Forestales**.

Definición de Formaciones Forestales

Para la elaboración del Mapa de Formaciones Forestales, en primer lugar se ha analizado desde Agresta S. Coop. las diferentes unidades de vegetación fitosociológicas presentes en el mapa de vegetación.

Para cada unidad de vegetación se estudió que modelos de combustible podrían corresponderle según la definición de los mismos. Una vez obtenido un completo listado de correspondencias entre unidades de vegetación y modelos de combustible, se procedió a **crear nuevos grupos de unidades de vegetación (formaciones forestales) que fueran homogéneas**, además de en su composición, en su potencial correspondencia a diferentes modelos de combustible.

El mapa de vegetación de canarias, además de catalogar a las formaciones por su agrupación fisionómica (campo C0_FISIONO), desglosa a su vez en formaciones más concretas a través de su nombre común (campo C1_NOMCON)

Tras realizar un estudio exhaustivo de los modelos de combustible, no fue posible trabajar solamente a nivel de agrupación fisionómica y algunas de las agrupaciones fue necesario desglosarlas a su vez según el campo C1_NOMCOM.

De igual manera se han unido agrupaciones fisionómicas en grupos más grandes (es decir se han agrupado fisionomías) con el fin de facilitar la actualización del mapa de vegetación.

Así por ejemplo: a nivel de comportamiento en un incendio y por tanto de asignación potencial a diferentes modelos de combustibles se agruparon las unidades de vegetación: “Pinar con codesos” y “Pinar con codesos de monte” en una única formación forestal denominada: “Pinar con codesos”

Todo este proceso se resume en la siguiente tabla, en la que en la primera columna se le ha asignado a cada nuevo grupo resultante (es decir a cada formación forestal) un número que la identifica. En el campo “Agrupar/desglosar” se detalla que agrupaciones fisionómicas (filas rellenar de color) del mapa de vegetación se unen o cuales se desglosan según su nombre común (filas en color blanco)

Formación forestal	Nombre Formación	Mapa de Vegetación: Denominación fisionómica / Nombre común	Agrupar / Desglose
12	Tarajal	Tarajal	
4	Palmeral	Palmeral	
1	Bosque termófilo	Bosque termófilo	Agrupar
		Sabinar	-
		Almacigal	-
		Acebuchal	-
		Lentiscal	-
		Monteverde	Desglosado
3	Laurisilva	· Laurisilva	
2	Brezal	· Brezal de crestería con Tejos + Brezal	
		Pinar	Desglosar en grupos de especies
5	Pinar con matorral termófilo	· Pinar con amagante + Pinar con jaguarzos + pinar con jaras de cumbre + Pinar con retama de Teide + Pinar con Jaras y tabaibas	Unir todos los 5
6	Pinar con codesos	· Pinar con codesos de cumbre	Unir todos los 6
7	Pinar genérico	· Pinar gomero + pinar herreño + pinar palmero + pinar sálico + pinar tinerfeño + Tabaibal dulce grancanario con Pinos	
11	Sauzal	Sauzal	
		Pinar - Sabinar	Desglosar en grupos de especies
8	Pinar – sabinar	· Pinar - Sabinar sobre afloramientos sálicos + Pinar con sabinas + Sabinar con pinos + Sabinar con pinos sobre coladas	
5	Pinar con matorral termófilo 2	· Pinar grancanario (pinar con jaguarzo) + Pinar con salviablanca de cumbre + Pinar con jaras y tabaibas	Unir todos los 5
		Pinar húmedo	
6	Pinar con codesos 2	· Pinar con codesos de monte	Unir todos los 6
10	Pinar húmedo	· Pinar húmedo	
9	Pinar con cedros	Pinar con cedros	
		Coníferas	Desglosar
13	Cipreses	· Cipreses	
14	Pinar y cipreses	· Pinar + Pinar y cipreses	
		Diversas especies arbóreas	Desglosar
15	Diversas especies arbóreas	· (genérico) + Acacias + Castañar + Plantaciones mixtas + Robledal, alcornocal, etc.	

Formación forestal	Nombre Formación	Mapa de Vegetación: Denominación fisionómica / Nombre común	Agrupar / Desglose
16	Eucaliptal	· Cipreses y eucaliptos + Eucaliptal	
17	Pinar con eucaliptos y palmeras	· Pinos y eucaliptos + Pinos, eucaliptos y palmeras + Pinos, cipreses y eucaliptos + Pinos, cipreses, eucaliptos y palmeras	
36	Matorral potencial incipiente	Matorral potencial incipiente	-
		· Vinagreras sobre aluviones holocénicos de La Caldera + Calcosas en lapillis de El Hierro	
45	Tabaibal-Cardonal	Tabaibal-Cardonal	Agrupar
		Tabaibal dulce	-
		Cardonal	-
		Matorral de balos	-
		Verodal	-
		Iramal. Com. de salado (también de sustitución)	-
		Cardonal con lentiscos	-
		Tabaibal de tolda	-
		Tabaibal mejorero	-
42	Retamar blanco	Retamar blanco (también de sustitución)	
40	Escobonillar, Crespar	Escobonillar, Crespar	
		Retamar-Codesar de cumbre, comunidad de Alhelí	Desglosar
43	Matorral de alhelí y rosálito de cumbre	· Matorral de alhelí y rosálito de cumbre + Matorral de alhelí y rosálito de cumbre con malpica	
44	Retamar-codesar	· Retamar de cumbre tinerfeño + Retamonar-codesar de cumbre palmero	
39	Violeta del Teide	Comunidad de Violeta del Teide	
41	Matorral halo-psamófilo y nitro-psamófilo	Matorral halo-psamófilo y nitro-psamófilo	
		Comunidad pionera de lapillis de ahulaga	No está en zona objeto de estudio
38	Comunidad de caméfitos y/o hemicriptófitos	Comunidad de caméfitos y/o hemicriptófitos	Agrupar
		Comunidad de caméfitos y/o hemicriptófitos acrohalinos	92170
		Comunidad de caméfitos y/o hemicriptófitos de saladares	92180
37	Balera	Balera	
		Fayal-brezal	Desglosar
22	Fayal – brezal con pinos	· Fayal – brezal con pinos	
23	Resto del Fayal – brezal	· Resto del Fayal – brezal	
24	Jaral	Jaral	92220
		Matorral de romerillo y rama cría	No está en zona objeto de estudio
		Matorral de turmero	No está en zona objeto de estudio
		Tomillar (también potencial)	Desglosar
31	Retamar de cumbre con tomillo	Retamar de cumbre con tomillo	
32	Resto de tomillos	Resto de tomillos	
25	Matorral de espineros y granadillos	Matorral de espineros y granadillos	Agrupar
		Matorral de Espineros y Granadillos (también potencial)	-
		Matorral de Espineros y Granadillos con adernos	-
		Matorral de Espineros y Granadillos con pinos	-

Formación forestal	Nombre Formación	Mapa de Vegetación: Denominación fisionómica / Nombre común	Agrupar / Desglose
		Matorral de Espineros y Granadillos con almácigos	-
47	Matorral de tasaigo	Matorral de tasaigo	
		Retamar, Retamonar, Escobonal, Codesar (también potencial)	Desglosar
26	Codesar	Codesar de cumbre + Codesar demonte	
27	Escobonal	Escobonal + Escobonal del Sur	
28	Escobonal – codesar	Escobonal- codesar de Norte grancanario	
29	Retamar	Retamar de cumbre grancanario + Retamar de retama amarilla + Retamar de retama negra + Retamonar + Retamonar, retamar, codesar y escobonal de monte + Tabaibal-Retamar + Retamar con salvia blanca de cumbre	
		Retamar con salvia blanca de cumbre	-
33	Zarzal	Zarzal	
20	Comunidad nitrófila frutescente	Comunidad nitrófila frutescente	
30	Tabaibal amargo	Tabaibal amargo	
21	Cornical	Cornical	
34	Helechal	Helechal	
48	Comunidad de tomillo con tajinaste y mosquera	Matorral de mosquera + Matorral de tajinaste y tomillo (también potencial)	Agrupar
		Matorral de mosquera	-
		Matorral de tajinaste y tomillo (también potencial)	-
35	Matorral de tojo	Matorral de tojo	
46	Tunerales y piterales	Tunerales y piterales	
18	Cañaveral	· Cañaveral	
19	Resto de herbazales	· Resto de herbazales	
49	Vegetación rupícola	VEGETACIÓN RUPÍCOLA	Agrupar
		Vegetación de malpaíses, riscos y acantilados	-
		Complejos de vegetación y comunidades liquénicas de malpaíses recientes	-
50	Vegetación acuática	VEGETACIÓN ACUÁTICA	Agrupar
		Vegetación dulceacuática	-
		Vegetación de aguas salobres	-
		Vegetación marina	-
		Áreas urbanas, rurales, industriales u otras áreas antrópicas de escasa vegetación vascular	Desglosar
51	Tagasastes	· Tagasastes	
52	Higuera	· Higuera	
53	Resto de áreas	· Resto de áreas	
54	Vegetación escasa o nula	Vegetación escasa o nula	

Proceso de creación de formaciones forestales

Fuente: Elaboración propia

Creación del mapa de formaciones forestales

A partir de este listado de formaciones forestales se ha procedido a una actualización de la cartografía del mapa de vegetación, mediante fotointerpretación, aplicación de cartografías existentes a nivel local más recientes y otras metodologías. Este proceso ha sido liderado por Grafcan, y durante el mismo se ha tenido especial cuidado de llevar a cabo **las actualizaciones de la cartografía de formaciones forestales cómo máximo la fecha de vuelo para la toma de datos de LIDAR** de cada Isla; de forma tal que tanto la información de estructura como la de composición sean homogéneas.

Durante el mismo se han ido encontrando con ciertas dificultades a la hora de identificar y delimitar las teselas que identifican la ubicación de las diferentes formaciones forestales. Dichas **dificultades** las podemos clasificar en dos niveles:

- De **índole general**, es decir que afectan a todas las islas y que han conllevado la creación de tres nuevas formaciones forestales:

55	Matorral sobre bancales	Matorral colonizador de bancales abandonados, pero que sin trabajo de campo es muy difícil saber qué vegetación está colonizándolos
56	No arbolada sin identificar	Tesela cuya composición no se identifica , pero que al menos se intuye no es arbolada
57	Arbolado sin identificar	Tesela cuya composición no se identifica , pero en la que al menos se intuye que se emplaza un estrato arbolado

- De **índole local**, es decir específicas para cada isla, y que fundamentalmente se centran en la imposibilidad de diferenciar algunas formaciones forestales concretas. Este segundo punto incide en la fiabilidad de la cartografía de modelos de combustible a obtener y será detallado en el apartado de “Conclusiones”

El resultado del trabajo ha sido una cartografía completa de cada isla en formato vector. A cada polígono se ha asignado una formación forestal, unas observaciones sobre las dificultades para su asignación y una anotación que indica si ese polígono había sido:

- 1) Totalmente revisado
- 2) Revisado parcialmente
- 3) Sin revisar por localizarse fuera de la superficie forestal.
- 4) Sin revisar por tener superficie menor de 1,5 Ha, y no ser susceptibles de fusionarse a polígonos mayores adyacentes, por diferencia de estructura. En estos polígonos no se han revisado sus límites por considerar que no son representativos frente a la escala del Mapa de vegetación.

Superficie Objeto de Estudio Definitiva

Como se ha explicado en epígrafes anteriores la superficie objeto de estudio para la generación de los mapas de combustibles coincidía inicialmente con aquella en la que se realizó el procesado de datos LiDAR en el año 2013.

Sin embargo, **el mapa de formaciones forestales** (que nos aporta información sobre la composición vegetal) **se ha elaborado a partir del mapa de vegetación de canarias**, tal y como se explica en el epígrafe anterior.

Al combinar estas dos fuentes de información se da la circunstancia de que existen zonas donde disponemos de información estructural pero no de composición, y viceversa. Este hecho se aprecia fundamentalmente en las zonas limítrofes de los polígonos.

Si se optara por trabajar sólo con la superficie objeto de estudio inicialmente establecida (es decir de la que se disponía información relativa a la estructura), se tendría que cortar el mapa de formaciones forestales con dicha superficie **dando como resultado múltiples polígonos de tamaño minúsculo que harían inmanejable su procesado**. Además se daría la circunstancia de la aparición de zonas donde habría información de estructura pero no de composición.

La siguiente imagen ilustra estas situaciones:



Discrepancias entre la zona de trabajo inicial (rojo: datos de estructura), y el mapa de formaciones forestales (verde: datos de composición)

Fuente: Elaboración propia

Para solucionar este conflicto **se ha acordado una nueva zona de trabajo para cada Isla**, resultante esta vez de la selección de teselas completas del mapa de formaciones forestales, siguiendo los siguientes criterios:

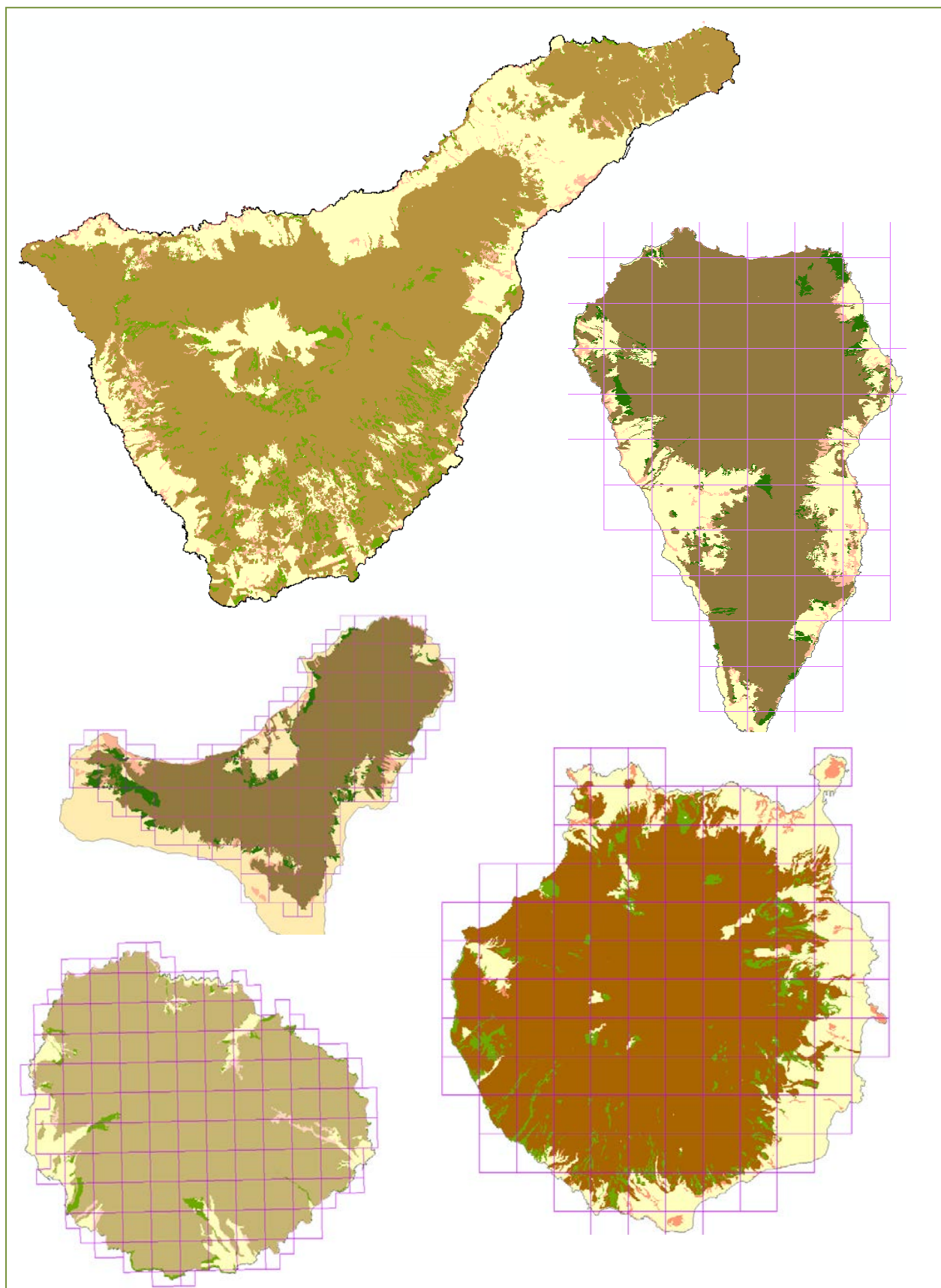
- Mantener la totalidad de la superficie ZARI
- Eliminar las zonas del mapa de formaciones forestales que no se actualizaron por considerarse Fuera de superficie Forestal
- Limitar el número de teselas del mapa de formaciones forestales que sólo se han actualizado parcialmente
- Estudiar todos los polígonos no revisados sus límites por ser menores de 1,5 ha
- Eliminar aquellas zonas para las que no se procesaron Bloques LiDAR durante el trabajo del año 2013

Las **nuevas superficies objeto de estudio**, mantienen e incluso aumentan en más de 11.000 ha la cantidad de superficie inicialmente prevista para la consecución de mapas de combustibles:

Isla	Sup. Estudio inicial (ha)	Sup. Estudio final (ha)	Diferencia (ha)
Tenerife	139.794,87	143.949,19	4.154,32
La Gomera	32.757,92	32.868,97	111,05
La Palma	53.788,74	54.358,91	570,17
El Hierro	17.815,00	18.266,24	451,24
Gran Canaria	112.482,00	118.374,66	5.892,66
Total	356.638,53	367.817,97	11.179,44

Fuente: Elaboración propia

Las siguientes imágenes muestran el solape entre ambas superficies de estudio (en marrón las zonas coincidentes, en verde las añadidas y en rosa las eliminadas para el desarrollo de modelos de combustible)



Comparación de las zonas iniciales de trabajo frente a las definitivas

Reprocesado de datos LiDAR

La modificación de la superficie objeto de estudio supone que haya regiones donde no existen datos procesados LiDAR, por tanto donde no existe información de estructura ni continuidad de los combustibles.

Se hace por tanto necesario **reprocesar los datos procedentes de los vuelos LiDAR**, para las nuevas superficies objeto de estudio. Los bloques de datos son exactamente los mismos, y por tanto se corresponden con las mismas fechas de vuelo, que se recuerda son:

Isla	Nº Bloques	Año Vuelo
Tenerife	2.419	2012/2013
La Gomera	485	2012
La Palma	883	2011 y 2013
El Hierro	380	2011
Gran Canaria	1.858	2011/2012
	53	2013
Total	6.078	2011 a 2013

Numero de archivos LAS y año de los vuelos

Fuente: Elaboración propia

Aprovechando la necesidad de volver a procesar, **se genera información cartográfica adicional** que se estima relevante para la asignación de modelos de combustibles, así por ejemplo se crean nuevos raster **con valores indicadores sobre la continuidad vertical de los combustibles**.

Asimismo se redefinen los criterios para diferenciar el estrato arbolado y el matorral; **pasando a considerarse matorral aquella vegetación por debajo de 4 metros**. Este cambio de criterio a la hora de caracterizar de forma estructural el matorral procede del análisis realizado sobre más de 100 parcelas de campo levantadas en Tenerife. Estas parcelas fueron levantadas por Agresta en el año 2014 dentro de las tareas necesarias para llevar a cabo un inventario utilizando tecnología LiDAR sobre masas de pinar realizado para el Cabildo de Tenerife.

Datos de Partida

Como se ha venido repitiendo, la presente asistencia pretende la creación de mapas de combustible mediante la combinación, y el análisis de dos fuentes de información principales:

- **Raster de estructura** (procedentes de sensores LiDAR): que aporta información sobre cantidad de combustible en los diferentes estratos, así como sobre su continuidad vertical y horizontal
- **Mapa de formaciones forestales**: cartografía en formato shape que indica la composición a nivel fitosociológico de las diferentes regiones de cada Isla.

Raster de estructura

En total se manejan para cada Isla 8 archivos cartográficos en formato raster generados con un tamaño de pixel de 25x25 metros:

- 2 raster para el estrato arbolado, considerado éste de los 4 a los 50 m de altura:
 - FCC del estrato arbolado (primeros retornos): FCC_h4a50
 - Altura dominante (percentil 95) del estrato arbolado: Ho
- 2 raster para el estrato de matorral, procesado de 0,4 a 4 m de altura:
 - FCC (todos los retornos) del estrato matorral: FCC_h04a4
 - Altura media del estrato matorral: Hm_h04a4
- 2 raster para todo el estrato vertical, procesado todo desde los 0,4 a los 50 m
 - FCC única (todos los retornos): FCC_unico
 - Altura media única: Hm_unico
- 2 raster indicadores de la continuidad de combustible vertical
 - Indicador CRR total para el rango de 0,4 a 50 m
 - Indicador CRR arbolado para el rango de 4 a 50 m

Mapa de formaciones forestales

La combinación del mapa de formaciones forestales en formato shape con el raster de estructura produce numerosos polígonos muy pequeños (de menos de 0,001 ha) que no tiene sentido a nivel espacial ni de interpretación para su tratamiento y análisis.

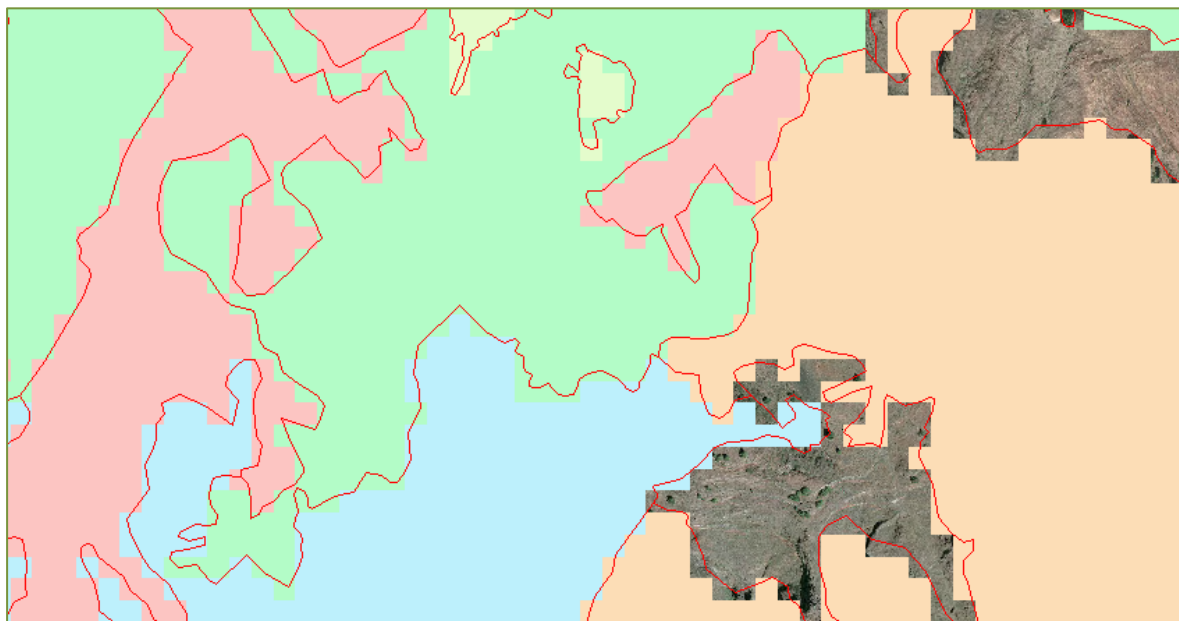
Se lleva a cabo por tanto una **transformación del mapa de formaciones forestales a formato raster**, a través del número índice asignado a cada formación forestal. Se considera que el trabajo realizado en formato raster genera resultados cartográficos más robustos, más claros (con menos ruido) y con una considerablemente mayor capacidad de interpretación.

Número índice	Nombre Formación
1	Bosque termófilo
2	Brezal
3	Laurisilva
4	Palmeral
5	Pinar con matorral termófilo
6	Pinar con codesos
7	Pinar genérico
8	Pinar – sabinar

Número índice	Nombre Formación
9	Pinar con cedros
10	Pinar húmedo
11	Sauzal
12	Tarajal
13	Cipreses
14	Pinar y cipreses
15	Diversas especies arbóreas
16	Eucaliptal
17	Pinar con eucaliptos y palmeras
18	Cañaveral
19	Resto de herbazales
20	Comunidad nitrófila frutescente
21	Cornical
22	Fayal – brezal con pinos
23	Resto del Fayal – brezal
24	Jaral
25	Matorral de espineros y granadillos
26	Codesar
27	Escobonal
28	Escobonal – codesar
29	Retamar
30	Tabaibal amargo
31	Retamar de cumbre con tomillo
32	Resto de tomillos
33	Zarzal
34	Helechal
35	Matorral de tojo
36	Matorral potencial incipiente
37	Balera
38	Comunidad de caméfitos y/o hemicriptófitos
39	Violeta del Teide
40	Escobonillar, Crespar
41	Matorral halo-psamófilo y nitro-psamófilo
42	Retamar blanco
43	Matorral de alhelí y rosálito de cumbre
44	Retamar-codesar
45	Tabaibal-Cardonal
46	Tunerales y piterales
47	Matorral de tasaigo
48	Comunidad de tomillo con tajinaste y mosquera
49	Vegetación rupícola
50	Vegetación acuática
51	Tagasastes
52	Higuera
53	Resto de áreas
54	Vegetación escasa o nula
55	Matorral sobre bancales
56	No arbolada sin identificar
57	Arbolado sin identificar

Listado de números índice asignados a cada formación forestal

Fuente: Elaboración propia



Ejemplo de rasterización (píxeles en color) del shape de formaciones forestales (bordes en rojo)

Fuente: Elaboración propia

Elaboración de los algoritmos de decisión

Consideraciones previas

La metodología empleada tiene como objetivo desarrollar algoritmos de decisión para la asignación de modelos de combustible basados en la información que aportan las diferentes variables LiDAR en combinación con el mapa de formaciones forestales. Para ello se analizó para cada pixel (25x25 m) la información estructural y el tipo de vegetación existente.

Una vez identificada la clase fundamental a la que pertenece una formación (arbolada, matorral o pastizal), la tipificación de los modelos de combustible forestal se basa fundamentalmente en la estructura y distribución de la vegetación más que en su composición específica (inventario florístico). Por tanto, es posible que diferentes asociaciones vegetales puedan ser asimiladas al mismo modelo de combustible forestal por tener un comportamiento parecido frente al fuego.

No obstante, para la asignación de los modelos de combustible no sólo se ha tenido en cuenta parámetros cuantitativos (e.g. altura y cobertura del combustible disponible) sino también el comportamiento esperado del fuego en función de parámetros cualitativos (e.g. inflamabilidad). Los modelos de combustible definidos en la clasificación utilizada fueron creados para la isla de Tenerife. Por tanto, aunque Tenerife es la isla más representativa que recoge la mayoría de los ecosistemas vegetales terrestres presentes en el resto de la geografía canaria, no todas las formaciones vegetales estaban representadas en los modelos de combustible existentes (e.g. Palmerales, Sauzales). Incluso para algunas de las formaciones previamente incluidas en la clasificación, las definiciones de los modelos no permitían una asignación directa por no cubrir toda la casuística encontrada tras el análisis de la caracterización estructural de la vegetación obtenida con los datos LiDAR (e.g. Pinares con sotobosque de densidad variable). En este sentido, a aquellas formaciones que no estaban previamente definidas de forma explícita en la clasificación de modelos de combustible de canarias se les han asignado los modelos en función no solo de variables estructurales similares sino del comportamiento del fuego potencial. En caso de dudas entre la asignación de varios posibles modelos, se ha seguido el criterio de la seguridad, eligiendo siempre el que presenta un comportamiento del fuego más peligroso.

Metodología para la asignación de los modelos de combustible

A continuación se describe el procedimiento utilizado para la asignación de modelos de combustible:

- Para cada celda se observa primero que tipo de formación forestal tiene
- Para las **formaciones forestales consideradas arboladas**:
 - Si la **FCC árbol > 30%** mantenemos la consideración de la tesela como formación arbolada, es decir el estrato arbóreo es predominante. En este caso primero hay que discriminar si hay continuidad vertical del combustible o no (ver epígrafe posterior sobre el criterio CRR)
 - Si hay **discontinuidad vertical**, entonces habría que ver el sotobosque para decidir si propaga por la hojarasca (**modelos 9**) o el matorral (**modelos 7**). Por tanto, nos fijamos en la FCC y altura (media) del matorral para decidir qué tipo de modelo de combustible se le asigna

- Si por el contrario hay **continuidad vertical**, es porque o bien el estrato arbóreo tiene porte arbustivo (e.g. regenerado), o es una masa irregular, o se mezcla con sotobosque muy alto. En estos casos en principio el modelo de combustible más adecuado sería tipo matorral (**modelos 4** si altura > 2m, **modelos 6** si altura entre 1,2 – 2 m). Por tanto, nos fijamos en el total del estrato de vegetación, es decir en la FCC y altura (media) del ráster único para decidir qué tipo de modelo de combustible se le asigna.
 - Si la **FCC árbol** $\leq 30\%$, se considera que el estrato arbóreo es demasiado pequeño para considerar la tesela como arbolada, por ser árboles aislados o agrupados en un pequeño rodal. En este caso los árboles no van a contribuir a la propagación del fuego por lo que no deben ser tenidos en cuenta.
 - Nos fijamos por tanto en la FCC y altura (media) del matorral para decidir qué tipo de modelo de combustible se le asigna. Habría que ver el sotobosque predominante para decidir si el combustible propagador es: pastizal (**modelo 1.A**, si FCC matorral < 25%), mezcla de pastizal con matorral (**modelo 2.A**, si FCC matorral 25 - 50%), o matorral (FCC matorral > 50%, asignando **modelos 4, 5 o 6**, en función de la altura y cobertura del matorral)
- Para las **formaciones forestales consideradas matorral o pastizal**:
 - Nos fijamos en el FCC y altura (media) del ráster único para decidir qué tipo de modelo de combustible se le asigna

En relación a las masas arboladas, hay que hacer varias aclaraciones. En primer lugar, se revisa al criterio de bosque limpio (**modelos 9**). Se considera una cobertura de matorral máxima del 30%, puesto que por debajo de esa FCC el matorral presente no tiene continuidad suficiente como para ser el elemento principal de propagación del fuego.

- FCC matorral $\leq 30\%$ → modelo 9 (modelos de hojarasca)
- FCC matorral > 30% → modelo 7 (modelos de matorral bajo arbolado)

Como el grupo de **modelos 7** tiene muchos subgrupos bien definidos, se diferencian varios niveles de cobertura de matorral siguiendo la clasificación inicial. Esto es aplicable sólo para los casos necesarios, es decir que no es necesario para las masas de Eucaliptar (7.A), Monteverde (7.B) y Pinar con monteverde dominante en sotobosque (7.E) al no existir previamente en la clasificación subgrupos definidos según distintas densidades de matorral bajo esos tipos concretos de masas arboladas.

El **modelo 10** se descarta como posible elección, puesto que no podemos discriminar ni con la cartografía de base ni con LiDAR si el sotobosque es un estrato de origen natural o son restos de plagas o explotaciones. Además, este tipo de modelos está asociado a perturbaciones de carácter temporal (plagas, enfermedades o tratamientos selvícolas), por lo que su identificación mediante cartografía previa o información LiDAR no estaría justificada si no se corresponden con datos continuamente actualizados.

Determinación de la continuidad vertical del combustible

En los casos de formaciones arboladas (FCC arbolado > 30%), se utiliza el estadístico **CRR (Canopy Relief Ratio)** para discriminar si existen dos estratos de combustible con discontinuidad vertical (es

decir copas y sotobosque bien diferenciados y separados), o si por el contrario hay continuidad vertical (casos típicos de una masa irregular, existencia de regenerado, sotobosque muy alto con baja altura de la base de la copa, etc.).

Para ello se utiliza el criterio sugerido por Parker y Russ (2004). Primero se calcula el CRR total de la vegetación (de 0,4 a 50 m), para discriminar si hay una estructura de copas agrupadas en la parte superior, que sería un caso claro de discontinuidad. En caso contrario sería una continuidad dudosa, ya que podría corresponder a un caso real de continuidad pero también a una formación arbolada con sotobosque denso y abundante. Para distinguir entre estas dos situaciones dentro del segundo caso, se calcula el CRR para el arbolado (4m – 50 m), eliminando el tramo inferior (0,4m a 4m) definido para el matorral. De esta forma se discriminaron las situaciones reales de continuidad y discontinuidad.

Modelos de decisión

En las tablas siguientes se detallan los algoritmos utilizados para la asignación de los modelos de combustible en cada una de las formaciones forestales existentes. Se han agrupado las formaciones forestales que tienen los mismos algoritmos por tener un comportamiento del fuego similar. En otros casos, si las tablas resultantes son coincidentes con otras existentes, se hace referencia a la misma sin incluirlas de nuevo. El código numérico que identifica cada formación forestal aparece entre paréntesis junto al nombre de la misma en cada epígrafe. En las tablas, las primeras columnas especifican los ráster de partida empleados así como los rangos de valores considerados. La columna central sombreada indica el modelo de combustible asignado (código ráster entre paréntesis) según la clasificación de Canarias. Al final se añade una columna adicional de observaciones donde se describen algunas consideraciones específicas para cada caso.

Bosque termófilo (1), Pinar con matorral termófilo (5), Pinar con codesos (6)

Aunque el bosque termófilo puede incluir **tanto especies de coníferas como de frondosas**, las características generales de las especies asociadas hacen que el comportamiento potencial del fuego sea similar al de los pinares termófilos, siendo **formaciones bastante inflamables**

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=60%	>=1.2	7.G (77)	Estos modelos canarios son para pinar, pero son aplicables al bosque termófilo porque serían los que más encajan por las especies agrupadas en esta formación (e.g. sabinar)
		<1.2	7.F2 (762)	
	30-60%	>=1.2	7.G (77)	Se supone 7.G para FCC >70%, pero se asigna por ser el más peligroso (a mayor altura del sotobosque más probable el fuego de copas)
		<1.2	7.F1 (761)	Se amplía cobertura, que para 7.F1 es FCC < 50%
	<=30%	0-100	9.B (92)	Se propone el modelo de hojarasca más peligroso

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC única (FCC_unico)	Hm única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=50%	0-100	7.G (77)	El comportamiento del fuego asociado a este modelo 7.G ya es suficientemente peligroso como para considerar posible paso a copas.
	30-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
<=30%	>=75%	>=2	4.B (42)	Es el más peligroso para esta altura y cobertura
		1.2-2	6.C (63)	El 6.C se supone es h>1.5 m, pero es un criterio orientativo y se puede establecer h>1.2
		<=1.2	5.A (51)	El 5.A no encaja exactamente en cuanto a FCC (30-60%) pero tiene sentido por formación y comportamiento
	50-75%	>=1.2	6.C (63)	El 6.C se supone es h>1,5 metros, pero es orientativo y se puede establecer h>1,2
		<1.2	5.A (51)	Es el más adecuado por el tipo de especies de matorral asociadas
	25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
	<=25%	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Brezal (2)

Estas formaciones de matorral son muy inflamables, y en condiciones desfavorables pueden producir comportamientos del fuego muy extremos.

FCC única (FCC_unico)	hm única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=75%	>=2	4.B (42)	Aunque por definición encajaría el modelo 4.A, claramente por comportamiento del fuego este tipo de matorral es muy inflamable y cuadra más con el 4.B
	1.2-2	6.C (63)	Encaja en 6.C porque aunque se define para h>1.5 m, esos 30 cm de altura mínima son irrelevantes
	<=1.2	5.A (51)	Para esta altura no encaja ningún modelo exactamente, pero el 5.A es el más parecido por el tipo de especies
=50-75%	>=1.2	6.C (63)	Se baja la altura a 1.2 (el 6.C indica h>1.5) para armonizar rangos de los tipos de matorral en todos los casos
	<1.2	5.A (51)	Para esta altura no encaja ningún modelo exactamente, pero el 5.A es el más parecido por el tipo de especies
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Laurisilva (3)

Estas formaciones forestales son **características de las zonas más húmedas de las islas**. Sus particularidades hacen que generalmente no sean muy inflamables en condiciones normales, excepto en situaciones meteorológicas desfavorables en las que la elevada **acumulación de biomasa y la continuidad del combustible** pueden llegar a producir incendios cuyo comportamiento del fuego sea moderadamente peligroso.

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>30%	0-100	7.B (72)	Modelo específico para laurisilva. Ampliamos el concepto alta cobertura inicial, a sotobosque de densidad variable
	<=30%	0-100	9.A (91)	Modelo de hojarasca específico para la laurisilva

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR):

Se propone un modelo de arbolado con sotobosque **más peligroso que el 7.B**, ya que al haber continuidad posiblemente habrá **más carga de combustible disponible**.

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC única (FCC_unico)	Hm única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=50%	0-100	7.D ₁ (741)	Asignamos 7. D ₁ (modelo propuesto para Pinar con sotobosque denso y alto de brezo y Monteverde) que es más peligroso (más rápido y más intenso) que el 7.B (modelo propuesto para Monteverde sin continuidad vertical).
	30-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

Debido a las **especies asociadas a la laurisilva**, cuando funciona como matorral se proponen **modelos menos peligrosos que para la formación brezal**.

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
<=30%	>=75%	>=2	4.C (43)	Aunque no cuadra por especies, asignamos 4.C porque el comportamiento del fuego sería más peligroso que el 4.A (fuego rápido pero poco intenso propuesto para Monteverde, que no encaja) pero menos que 4.B (comportamiento extremo, asignado a brezal).
		1.2-2	6.B (62)	Aunque no encaja por especies (suculentas), asignamos 6.B porque el comportamiento del fuego sería moderado (menos peligroso que 6.A y 6.C), aunque el fuego sea algo más rápido que 4.C (todos los modelos 6 son más rápidos que 4.C). Se amplía la altura desde 1.2 m para armonizar rangos de los tipos de

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
				matorral en todos los casos
		<=1.2	5.B (52)	Aunque no encaja por especies (suculentas), asignamos 5.B porque el comportamiento del fuego sería moderado (menos intensidad que 5.A).
	50-75%	>=1.2	6.B (62)	Aunque no encaja por especies (suculentas), asignamos 6.B porque el comportamiento del fuego sería moderado (menos peligroso que 6.A y 6.C).
		<1.2	5.B	Aunque no encaja por especies (suculentas), asignamos 5.B porque el comportamiento del fuego sería moderado (menos intensidad que 5.A).
	25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
	<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Palmeral (4)

Estas formaciones **no son muy extensas y están asociadas a zonas secas**. Primero vemos con criterio CRR si tiene estructura vertical que permita clasificarlo como arbolado (dosel de copas bien diferenciado del sotobosque) o no. Partiendo de la base de que las especies no van a cuadrar (ya que esta vegetación no figura en la clasificación existente), y de la suposición de que su identificación como formación forestal se debe a una cobertura más o menos continua de palmeras (FCC > 30%), se proponen las siguientes tablas de asignación:

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>30%	0-100	7.G (77)	Aunque no coincide con la definición, por comportamiento le encaja un 7.G. (Pinar con matorral de especies termófilas/xerófilas) en función de la presencia de matorral
	<=30%	0-100	2.A (2)	Encaja más un 2.A porque se entiende que la propagación es pasto con matorral, y no la hojarasca que definiría los modelo 9

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC única (FCC_unico)	Hm única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=50%	0-100	7.G (77)	Proponemos el 7.G porque ya es un caso suficientemente peligroso.
	30-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

Se comporta como el matorral del **Bosque termófilo (1)**

Pinar genérico (7), Pinar – sabinar (8), Pinar con cedros (9), Pinar y cipreses (14), Pinar con eucaliptos y palmeras (17)

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=60%	>1.2	7.C ₁ (731)	Sin conocer la composición de especies del matorral no es posible diferenciar los modelos 7.C, de 7.D ₁ y de 7.G. Se propone asignar el modelo que produce un comportamiento más extremo: 7.C₁
		<=1.2	7.F ₂ (762)	Modelo específico para pinar que encaja por definición y por comportamiento
	30-60%	>1.2	7.C ₂ (732)	Sin composición del matorral no es posible diferenciar 7.C de 7.D. Por estructura cabría 7.D ₂ (fuego menos peligroso), pero predomina Monteverde y por especies encajaría mejor en Pinar húmedo. Se propone asignar el modelo que produce un comportamiento más extremo: 7.C₂
		<=1.2	7.F ₁ (761)	Modelo específico para pinar que encaja por definición y por comportamiento
	<=30%	0-100	9.B (92)	Modelo específico para hojarasca de pinares

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC única (FCC_unico)	Hm única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=50%	0-100	7.C1 (731)	Aunque por continuidad encajaría en un tipo matorral 4.B (h > 2m) y 6.C (h < 2m), el modelo 7.C1 tiene un comportamiento mucho más extremo. Por tanto, se propone asignar 7.C1 (el modelo más peligroso existente) ya que se entiende que este caso de arbolado con continuidad sería igual o más peligroso que el caso con dos estratos (discontinuidad)
	30-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

Sin conocer la composición del matorral, sólo se pueden identificar modelos generales de combustible (a nivel de grupo). En cualquier caso, para no reducirlo todo a modelos genéricos de matorral, **se propone una asignación siguiendo criterios de seguridad** que permite la comparación con otras formaciones similares (e.g. otros pinares termófilos que tienen asignación bien definida de modelos de combustible para este caso del matorral)

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
--------------------------	---------------------------	------------------------	-------------------	---------------

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
<=30%	>=75%	>=2	4.B (42)	Ante la duda de especies, especificamos el modelo 4.B que es el más peligroso que 4.C
		=1.2-2	6.C (63)	Podrían ser tanto 6.A como 6.C al no conocer las especies. Ambos predicen fuegos similares, pero se propone 6.C por tener mayor intensidad del fuego
		<1.2	5.D (54)	Los modelos 5.B y 5.C predicen fuegos similares. Se propone 5.D que presenta un comportamiento algo más peligroso
	50-75%	>=1.2	6.C (63)	Ante la duda, se asignaría 6.C que predice fuego más peligroso
		<1.2	5.A (51)	Por estructura podría ser cualquiera, son muy similares. Se propone 5.A por tener mayor intensidad del fuego
	25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
	<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Pinar húmedo (10)

Estas formaciones de pinar son en principio menos propensas a la propagación del fuego que las formaciones de pinares descritas anteriormente, ya que por encontrarse en **zonas húmedas próximas al Monteverde, el cortejo de especies asociadas también será en conjunto menos inflamable**. Por tanto, en general se espera un comportamiento del fuego mucho menos peligroso que en las formaciones de pinar genérico o termófilo.

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=60%	0-100	7.E (75)	Se propone asignar 7.E con cualquier altura. Poner 7.F ₂ para h < 1.2 m no tiene sentido porque al incluir especies más inflamables el comportamiento del fuego es mucho más peligroso que 7.E.
	30-60%	0-100	7.D ₂ (742)	Se propone asignar 7.D ₂ con cualquier altura. Poner 7.F1 para h < 1.6 m no cuadra porque al incluir especies más inflamables el comportamiento del fuego es más peligroso que 7.D ₂ .
	<=30%	0-100	9.B (92)	Aunque al ser pinar húmedo sería menos inflamable que otras formaciones, por compactación y estructura este es el modelo de hojarasca más adecuado.

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR):

Se propone un modelo de arbolado con sotobosque **más peligroso que el 7.E**, ya que al haber continuidad posiblemente habrá **más carga y por tanto más intensidad del fuego**. El algoritmo resultante sería parecido al de laurisilva con continuidad.

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC única (FCC_unico)	Hm única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=50%	0-100	7.D ₁ (741)	Se propone 7.D ₁ porque se entiende que al haber continuidad vertical el fuego sería algo más intenso que 7.E, pero que al ser un Pinar húmedo sería sólo moderadamente inflamable.
	30-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

En este caso (Pinar húmedo con FCC <= 30%) se entiende que el matorral sería predominantemente de Monteverde y/brezo. Por tanto, el algoritmo sería el mismo que el del matorral asociado a la formación **Laurisilva (3)**.

Sauzal (11)

Se entiende que estas formaciones **no son muy extensas, pero si son densas (más o menos lineales o agrupadas) y están asociadas a zonas húmedas (vegetación de ribera)**. Partiendo de la base de que las especies no van a cuadrar (ya que esta formación no aparece en la clasificación de modelos de combustible), y de la suposición de que su identificación se debe a una cobertura más o menos continua de sauces (FCC > 30%), se propone la siguiente asignación:

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>30%	0-100	7.B (72)	Aunque no coincide con la definición concreta, por comportamiento encaja un 7.B. (Monteverde con matorral) en función de la presencia de matorral
	<=30%	0-100	9.A (91)	La propagación es por la hojarasca (más parecida a Monteverde que a Pinar).

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC única (FCC_unico)	Hm única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=50%	0-100	4.C (43)	Se propone 4.C (que es más lento y menos peligroso que 4.B) por estar en zonas de ribera (húmedas) . Se amplía a cualquier altura y coberturas, ya que incluir modelos 6 para FCC de 50 - 75% no encaja porque serían fuegos más peligrosos que 4.C (a menor carga no suele haber mayor intensidad)
	30-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
<=30%	>=50%	>=1.2	4.C (43)	Se propone 4.C (más lento y menos peligroso que 4.B) por estar en zonas de ribera (húmedas) pero sigue siendo tipo matorral moderadamente denso y alto. Se amplía la altura y coberturas ya que incluir modelos 6 para FCC de 50 - 75% no encaja porque serían fuegos más peligrosos que 4.C y más rápidos que 2.A (la mezcla con pastizal siempre acelera el fuego respecto al matorral).
		<1.2	5.B (52)	No encaja exactamente en cuanto a especies, pero tiene sentido por comportamiento del fuego
	25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
	<=25%	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Tarajal (12)

Por la **estructura de la especie Tamarix (porte arbustivo, hojas pequeñas, acumulación de biomasa seca) el comportamiento del fuego sería similar al de un brezal**. Serían formaciones arbustivas más bien densas y continuas aunque poco extensas. Por tanto, se propone asignar modelos de matorral, aunque también cabe considerar el caso de menor densidad con presencia de pastizal. Por tanto, el algoritmo es igual al de la formación **Brezal (2)**.

Cipreses (13)

En general, **el ciprés es una especie poco inflamable y bastante resistente a la propagación del fuego**. En comparación a otras coníferas (e.g. pinos), las particularidades de su estructura (copa densa y compacta, ausencia de ramas muertas en la base de la copa, capa de hojarasca muy compacta, etc.) hacen que cuanto mayor sea la densidad del arbolado, más se dificulte la propagación del fuego (menor aireación, mayor dificultad de ignición y combustión, escasa o nula vegetación en sotobosque). Por tanto, si la masa arbolada tiene cobertura alta y no hay matorral entremezclado con los pies de ciprés, el modelo 9.B sería correcto (fuego de hojarasca, lento y de baja intensidad).

La presencia de continuidad vertical en las copas puede ser una situación frecuente en cipreses (copas alargadas, base de la copa cercana al suelo). Sin embargo, dadas las particularidades antes descritas de la especie (poco inflamable en general) harían que en estas formaciones la continuidad del combustible dificultara el avance del fuego en lugar de facilitarlo. Por tanto, para este caso concreto, no se contemplan situaciones diferenciadas según la presencia o ausencia de continuidad vertical del combustible.

- Arbolado con o sin continuidad vertical (criterio CRR irrelevante):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>30%	0-100	7.G	Aunque este caso de discontinuidad vertical es

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
			(77)	poco probable, si hay matorral se entiende que por comportamiento encajaría un 7.G. (Pinar con matorral de especies termófilas/xerófilas)
	<=30%	0-100	9.B (92)	Se entiende que la propagación por la hojarasca, de producirse, sería más parecida a la del pinar que a la del Monteverde.

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

En caso de tener cipreses dispersos, habría que ver si la vegetación circundante es pastizal o matorral para decidir el modelo (que sería el correspondiente a dichas formaciones obviando la presencia de los cipreses, ya que estos no contribuirían significativamente a la propagación del fuego). Por tanto, el algoritmo resultante sería el equivalente al del matorral del **Bosque termófilo (1)**.

Diversas especies arbóreas (15)

Al no conocer las especies, este es uno de los casos más difíciles de concretar. Al discriminar exclusivamente por la estructura/continuidad del arbolado y presencia del matorral, tendríamos varias opciones. En general, viendo las formaciones vegetales incluidas en este grupo, **serían fundamentalmente plantaciones de castaño (y en menor medida robledal, acacias, y otras frondosas), con hojarasca abundante, y situadas en zonas más bien húmedas (próximas al Monteverde)**. Viendo las propuestas para otras formaciones arboladas (Bosque termófilo, Pinares, Monteverde o Eucaliptar), se han asignado los algoritmos que más encajarían según inflamabilidad y comportamiento potencial del fuego.

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>30%	0-100	7.A (71)	Por las características de la hojarasca (especies de frondosas) y el sotobosque potencial (helechos, brezos, etc.), asignamos el modelo 7.A (Eucaliptar con matorral de densidad alta) ampliando el concepto a sotobosque de densidad variable
	<=30%	0-100	9.B (92)	La hojarasca abundante y poco compacta de estas especies de frondosas facilitaría la propagación, por lo el modelo 9.B sería el más adecuado por ser más inflamable y tener mayor intensidad del fuego.

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR):

Para estas formaciones **el criterio CRR de continuidad vertical sería irrelevante**, pues el modelo 7.A es suficiente para describir un comportamiento muy extremo (fuego rápido y de alta intensidad). **Por tanto, el algoritmo sería el mismo que para las masas arboladas sin continuidad vertical.**

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

En este caso (Castañar y otras frondosas) entendemos que el **matorral acompañante sería bastante inflamable (tipo brezo, helechos, zarzas o similar)**. Por tanto, el algoritmo sería el mismo que para el matorral del **Bosque termófilo (1)**.

Eucaliptal (16)

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>30%	0-100	7.A (71)	Ampliamos el concepto del 7.A (eucaliptal con matorral de densidad alta) a sotobosque de densidad variable
	<=30%	0-100	9.B (92)	Dado que la hojarasca del eucaliptal es muy inflamable, asignamos 9.B porque es el modelo de hojarasca que tiene mayor intensidad del fuego

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR):

Para estas formaciones **el criterio CRR de continuidad vertical sería irrelevante**, pues el modelo 7.A es suficiente para describir un comportamiento muy extremo (fuego rápido y de alta intensidad). **Por tanto, el algoritmo sería el mismo que para las masas arboladas sin continuidad vertical.**

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

En este caso se entiende que el eucaliptal es una **especie invasora de zonas degradadas** y que el **matorral asociado sería bastante inflamable (tipo brezo, helechos, zarzas o similar)**. Por tanto, el algoritmo sería el mismo que el del matorral del **Bosque termófilo (1)**.

Cañaveral (18)

Esta formación particular tiene un modelo de combustible específico: **3.A (3)**

Resto de herbazales (19)

Hmedia único (Hm_unico)	FCC único (FCC_unico)	Modelo canario	Observaciones
0,5- 1= m	0-100	1.A (1)	Modelo específico del pastizal
>1 m	<=30%	1.A (1)	Predomina el pastizal, la cobertura del matorral no es suficiente
	30-60%	2.A (2)	Mezcla pastizal y matorral
	>=60%	6.A (61)	Ya no es herbazal (2.A sólo llega hasta el 60% de FCC matorral). Sería matorral, asignando modelo 6.A por ser el más peligroso, teniendo en cuenta que la mezcla con pastizal circundante facilita y acelera la propagación

Comunidad nitrófila frutescente (20), Tabaibal amargo (30), Comunidad de caméfitos y/o hemicriptófitos (38)

Para estas formaciones xerófilas existe un modelo canario específico: **11.A (11)**

Cornical (21), Matorral potencial incipiente (36), Balera (37), Matorral halo-psamófilo y nitro-psamófilo (41), Tabaibal-Cardonal (45), Tunerales y piterales (46), Matorral de tasaigo (47), Higuera (52)

Para estas formaciones xerófilas existe un modelo canario específico: **11.A (11)**

Fayal – brezal con pinos (22), Resto del Fayal – brezal (23)

En el caso de existir suficiente cobertura de pinar (**FCC arbolado > 30%**), por su composición y estructura (pinar con predominio de brezos) esta formación forestal sería una **etapa previa al Pinar húmedo**.

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

En general, la propagación del fuego sería fundamentalmente por el estrato del brezal, con lo cual tendría un **comportamiento del fuego más peligroso** que el del Pinar húmedo y el Monteverde. Por tanto, se utiliza un algoritmo similar al del Pinar con matorral termófilo, pero asignando modelos más asociados a brezo (7.C en vez de 7.G). El resultado es el mismo algoritmo que para el grupo **Pinar genérico + otros pinares (7)**

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>=60%	>=1.2	7.C ₁ (731)	Modelo específico para pinar con brezos. Se amplían la altura y cobertura de la definición original (h>1.6m, FCC>75%)
		<1.2	7.F ₂ (762)	Encaja bien por especies y estructura
	30-60%	>=1.2	7.C ₂ (732)	El modelo define 7.C ₂ para FCC>50%, pero se asigna por coherencia respecto a la definición de 7.C ₁ (misma formación pero con menor cobertura de brezo) y por el comportamiento del fuego asociado (7.D ₁ sería muy similar, pero con intensidad del fuego es algo menor)
		<1.2	7.F ₁ (761)	Se amplía cobertura, que para 7.F ₁ es FCC< 50%
	<=30%	0-100	9.B (92)	Modelo para hojarasca de pinar

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR):

En este caso, se utiliza el mismo algoritmo que para el grupo **Pinar genérico + otros pinares (7)**

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

En este caso, al no existir estrato dominante de pinos y tener **presencia no sólo de brezo sino también de faya (especie de carácter más húmedo que el brezo, y por tanto menos inflamable)** se propone un algoritmo menos peligroso que el del brezal puro. El algoritmo resultante sería el mismo que el del matorral asociado a la formación **Laurisilva (3)**

Jaral (24), Codesar (26), Escobonal – codesar (28), Escobonal (27), Retamar blanco (42), Tagasastes (51)

Todas estas formaciones de matorral son **bastante inflamables** y tienen un comportamiento del fuego parecido. El algoritmo resultante es el mismo que el de la formación **Brezal (2)**.

Matorral de espineros y granadillos (25)

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>= 50%	>=1.2	6.C (63)	Se amplía la altura (la definición es para h>1.5 m) para armonizar rangos de los tipos de matorral en todos los casos
	<1.2	5.B (52)	Modelo específico para matorral termófilo asociado a especies suculentas
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Retamar (29), Retamar de cumbre con tomillo (31), Retamar-codesar (44)

Formaciones de matorral similares entre sí que presentan el mismo comportamiento del fuego. El algoritmo es muy parecido al del Brezal, pero asignando el modelo específico existente para **matorral de alta montaña (5.C)** en el caso de cobertura densa (FCC > 50%) y baja altura (h < 1.2 m)

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=75%	>=2	4.B (42)	Para estas especies, aunque sea poco frecuente, interesa contemplar este caso ya que tendría un comportamiento aún más peligroso que 6.C
	1.2-2	6.C (63)	Encaja bien por especies, y aunque se define para h>1.5 esos 30 cm de altura mínima son irrelevantes
	<=1.2	5.C (53)	Modelo específico para matorral de alta montaña
50-75%	>1.2	6.C (63)	Se amplía la altura (el 6.C se define para h>1.5 m) para armonizar rangos de los tipos de matorral en todos los casos
	<=1.2	5.C (53)	Modelo específico para matorral de alta montaña
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Violeta del Teide (39), Matorral de alhelí y rosálito de cumbre (43)

Estas formaciones se agrupan por ser características de **alta montaña**.

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

>=50%	0-100	5.C (53)	En caso de existir estas coberturas (poco frecuente), asignamos el modelo específico para matorral de alta montaña. No existen estos matorrales con $h > 1.2$ m
25-50%	0-100	2.A (2)	Para esas coberturas de matorral, es mejor asignar 2.A. Aunque el comportamiento del fuego sea más rápido que 5.C (asignado para FCC > 50%) está justificado por ser un modelo mixto de matorral con pastizal (la presencia de herbáceas acelera la propagación)
<25%	0-100	1.A (1)	Predomina el pastizal

Resto de tomillos (32), Comunidad de tomillo con tajinaste y mosquera (48)

Son **formaciones de matorral bajo** tendrían comportamiento del fuego similares

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=50%	0-100	5.B (52)	No existen estos tipos de matorrales con $h > 1.2$ m
25-50%	0-100	2.A (2)	Para estas coberturas de matorral, mejor 2.A. Aunque el comportamiento del fuego sea más rápido que 5.B (asignado para FCC > 50%) está justificado por ser un modelo mixto de matorral con pastizal (la presencia de herbáceas acelera la propagación)
<25%	0-100	1.A (1)	Predomina el pastizal

Zarzal (33), Helechal (34)

Estas formaciones son características de **zonas limítrofes de cultivos o agrícolas abandonadas**

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=75%	>=2	4.C (43)	Modelo específico para estos matorrales invasores y muy inflamables
	1,2-2	6.A (61)	Modelo específico para estos matorrales invasores y muy inflamables
	<=1,2	5.D (54)	Modelo específico para estos matorrales invasores y muy inflamables
50-75%	>1,2	6.A (61)	Dado que existe este modelo específico para estas formaciones, se propone ampliar la cobertura (definición es FCC > 75%)
	<=1,2	5.D (54)	Dado que existe este modelo específico para estas formaciones, se propone ampliar la cobertura (definición es FCC > 75%)
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Matorral de tojo (35)

Son **formaciones de matorral muy inflamable**. El algoritmo es el mismo que la formación **Brezal (2)**.

NOTA: Aunque para densidad alta (FCC > 75%) y altura baja ($h < 1.2$ m) el modelo 5.D encajaría bien por cobertura, es mejor asignar 5.A para esas densidades, ya que si no ocurriría que a mayor cobertura de tojo el fuego sería de igual intensidad pero más rápido (no es coherente, pues el pastizal entremezclado acelera la velocidad del fuego en comparación al matorral más denso).

Escobonillar, Crespar (40)

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=50%	>1.2	6.A (61)	Ni 6.A ni 6.B encajan: 6.A es para FCC>75% y 6.B es para $h > 1.5$ m Ante la duda, propone ampliar cobertura y asignas 6.A porque tiene fuego más peligroso.
	<=1.2	5.C (53)	Modelo específico para matorral de alta montaña
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<25%	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Vegetación rupícola (49), Vegetación acuática (50), Resto de áreas (53), Vegetación escasa o nula (54)

Estas formaciones frenan la propagación del fuego. Por tanto, **no se les asigna modelo (valor 0)**

Matorral sobre banales (55)

Teselas del mapa de formaciones forestales identificadas como **zonas de matorral en terrenos de cultivo abandonados**, pero sin poder discriminar la especie de matorral

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=75%	>=2	4.B (42)	Aunque la descripción de 4.C parece adecuada (matorral invasor de tierras de cultivo) el fuego previsto es mucho menos peligroso que para el modelo 6.A. Se propone asignar el modelo 4.B por ser más peligroso.
	1.2-2	6.A (61)	Modelo específico para matorral invasor de terrenos de cultivo abandonados
	<=1.2	5.D (54)	Modelo específico para matorral invasor de terrenos de cultivo abandonados
50-75%	>1,2	6.A (61)	Se propone ampliar la cobertura (definición es FCC > 75%)
	<=1,2	5.D (54)	Se propone ampliar la cobertura (definición es FCC > 75%)
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<25%	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

No arbolada sin identificar (56)

Teselas del mapa de formaciones forestales en las que no se identifica su composición, pero que al menos se intuye no es arbolada. El algoritmo sería similar al de otras formaciones de matorral, en las que se contempla la posibilidad de presencia de pastizal predominante o modelos mixtos. Siguiendo criterios de seguridad, **en el caso de poder asignar varios modelos se ha elegido el de comportamiento del fuego más peligroso.**

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=75%	>=2	4.B (42)	Se propone asignar el modelo 4.B por ser el más peligroso para esta altura y cobertura
	1.2-2	6.C (63)	Se propone el modelo 6.C por ser el más peligroso, ampliando alturas desde h >1.2 m
	<=1.2	5.D (54)	Para estas alturas de matorral, este es el modelo más peligroso
50-75%	>1.2	6.C (63)	Se propone el modelo 6.C por ser el más peligroso, ampliando alturas desde h >1.2 m
	<=1.2	5.D (54)	Se propone este modelo por ser el más peligroso para estas alturas de matorral, ampliando la cobertura desde FCC > 50%
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<25%	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Arbolada sin identificar (57)

Teselas del mapa de formaciones forestales en las que no se identifica su composición, pero donde al menos se intuye que se emplaza un estrato arbolado. Los algoritmos serían similares a los de otras formaciones arboladas, en los que se contemplan varias opciones según coberturas y continuidad del combustible. **Por seguridad, en el caso de poder asignar varios modelos se ha elegido el de comportamiento del fuego más peligroso.**

- Arbolado con y sin continuidad vertical (criterio CRR):

Para estos dos casos de masas arboladas (FCC > 30%, con y sin continuidad) los algoritmos resultantes son iguales que los del grupo **Pinar genérico + otros pinares (7)**

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
<=30%	>=75%	>=2	4.B (42)	Se propone asignar el modelo 4.B por ser el más peligroso.
		=1.2-2	6.C (63)	Se propone el modelo 6.C por ser el más peligroso, ampliando alturas desde h >1.2 m
		<1.2	5.D (54)	Para estas alturas de matorral, este es el modelo más peligroso
	50-75%	>=1.2	6.C (63)	Se propone el modelo 6.C por ser el más peligroso, ampliando alturas desde h >1.2 m
		<1.2	5.D (54)	Se propone por ser el más peligroso para estas alturas, ampliando cobertura desde FCC > 50%
	25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
	<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Equivalencia entre modelos de combustible canarios y los modelos de combustible NFFL de Rothermel

Una vez asignados los modelos de combustible según la clasificación específica para Canarias, se puede obtener la codificación para los modelos de combustible clásicos NFFL de Rothermel aplicando la siguiente transformación:

Modelo de combustible Canario	Modelo NFFL
1.A (1)	1
2.A (2)	2
3.A (3)	3
4.A (41), 4.B (42), 4.C (43)	4
5.A (51), 5.B (52), 5.C (53), 5.D (54)	5
6.A (61), 6.B (62), 6.C (63)	6
7.A (71), 7.B (72), 7.Cs (731, 732), 7.Ds (741, 742), 7.E (75), 7.Fs (761, 762), 7.G (77)	7
9.A (91)	8
9.B (92)	9
11.A (11)	2

Equivalencia entre los modelos de combustible canarios asignados y los modelos clásicos NFFL de Rothermel

Fuente: Elaboración propia

Para los modelos de combustible de hojarasca en la clasificación de Rothermel se distinguen dos casos:

- Modelo 8: capa compacta de hojarasca en bosque denso de coníferas o frondosas, en la que los fuegos son de poca intensidad, con llamas cortas y velocidades de avance bajas.
- Modelo 9: capa esponjada de hojarasca en bosque denso de coníferas o frondosas, con mucho aire interpuesto y poco compacta, que produce fuegos más rápidos y con llamas más largas que en el modelo 8.

Según este criterio, el modelo específico de hojarasca para el Monteverde o Laurisilva (9.A) se corresponde mejor con el modelo 8 de la clasificación de Rothermel, que es menos inflamable. El resto de casos de hojarasca (9.B) se corresponden con el modelo 9 al tener asociado un comportamiento del fuego más peligroso.

Las formaciones xerófilas no tienen una equivalencia directa en la clasificación de Rothermel. Dado que son formaciones con muy baja cobertura del matorral ($FCC \leq 50\%$) en los que puede ser compatible la presencia de pastizal, se considera que el modelo 2 (mezcla de pastizal y matorral) es el más adecuado.

Para el resto de modelos de la clasificación de Canarias, es decir para los modelos de combustible de la clase I de herbazales (1, 2 y 3) y la clase II de matorrales (4, 5, 6 y 7), la equivalencia con los modelos de Rothermel es directa.

Resultados

Tras la aplicación de los algoritmos de decisión a la combinación de la información del mapa de formaciones forestales y las diferentes cartografías de estructura **se obtiene para cada isla un raster con tamaño de celda 25x25 metros** (625 m², es decir 0,0625 ha). Cada celda del raster posee un código numérico que hace referencia a los diferentes modelos de combustible.

Dado que el formato raster sólo puede almacenar números, se sustituyen los apelativos de los modelos de combustible por un código numérico (como ya se adelantó en el epígrafe anterior)

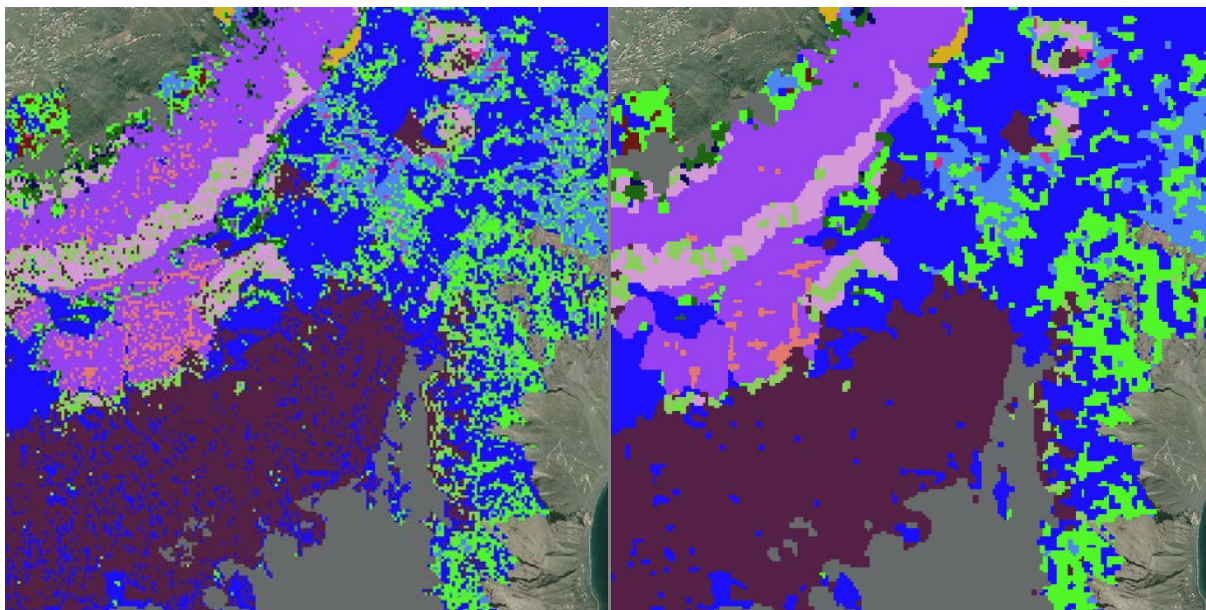
Mod. Combustible	Cod. raster
Sin modelo	0
1.A	1
2.A	2
3.A	3
4.A	41
4.B	42
4.C	43
5.A	51
5.B	52
5.C	53
5.D	54
6.A	61
6.B	62
6.C	63
7.A	71
7.B	72
7.C1	731
7.C2	732
7.D1	741
7.D2	742
7.E	75
7.F1	761
7.F2	762
7.G	77
9.A	91
9.B	92
11.A	11

Equivalencia entre los modelos de combustible y los valores en la cartografía raster

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de cartografía posee un elevado grado de detalle, incluso demasiado en algunos casos, ya que considera pequeños claros dentro de las masas arboladas con modelos de pasto o matorral. Consideramos que son resultados de gran utilidad para su volcado y análisis en simuladores.

Sin embargo para otro tipo de usos, tales como la generación de cartografía impresa, o la planificación de actuaciones, **se han llevado a cabo una serie de procedimientos de agrupación de píxeles comunes y eliminaciones de píxeles aislados** para obtener cartografías más “limpias” con recintos más manejables. Denominamos a estos raster como de “**resolución media**” y presenta un **tamaño mínimo de agrupación de 0,1875 ha.**



La imagen de la izquierda muestra los modelos de combustible en alta resolución para una región de la isla de El Hierro. En la derecha tras el proceso de integración de píxeles en recintos mayores.

Fuente: Elaboración propia

Todas estas cartografías están disponibles tanto para los modelos de combustible canarios, como los modelos de combustible clásicos NFFL de Rothermel, detallados en el punto anterior.

Isla	Nombre raster	Descripción
El Hierro	Hi_Mod_Can_Mask	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución
El Hierro	Hi_Mod_Can_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
El Hierro	Hi_Mod_Gen_Mask	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
El Hierro	Hi_Mod_Gen_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
La Palma	lp_Mod_Can_Mask	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución
La Palma	lp_Mod_Can_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
La Palma	lp_Mod_Gen_Mask	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
La Palma	lp_Mod_Gen_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
La Gomera	go_Mod_Can_Mask	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución
La Gomera	go_Mod_Can_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
La Gomera	go_Mod_Gen_Mask	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
La Gomera	go_Mod_Gen_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
Gran Canaria	gc_Mod_Can_Mask	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución
Gran Canaria	gc_Mod_Can_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
Gran Canaria	gc_Mod_Gen_Mask	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
Gran Canaria	gc_Mod_Gen_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
Tenerife	tf_Mod_Can_Mask	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución

Isla	Nombre raster	Descripción
Tenerife	tf_Mod_Can_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
Tenerife	tf_Mod_Gen_Mask	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
Tenerife	tf_Mod_Gen_MF4h2_Sieve4	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados

Cartografía de modelos combustible: Nombre de los archivos cartográficos en **formato raster**

Fuente: Elaboración propia

Finalmente para los raster de resolución media es posible su conversión a **formato shapefile** con un tamaño de archivo manejable. En este formato cartográfico se ha incluido un campo alfanumérico que contiene el nombre de cada modelo de combustible que sustituye el código que los identificaba en los archivos de tipo raster.

Isla	Nombre shapefile	Descripción
El Hierro	hi_mod_can_sieve	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
El Hierro	hi_mod_gen_sieve	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector
La Palma	lp_mod_can_sieve	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
La Palma	lp_mod_gen_sieve	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector
La Gomera	go_mod_can_sieve	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
La Gomera	go_mod_gen_sieve	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector
Gran Canaria	gc_mod_can_sieve	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
Gran Canaria	gc_mod_gen_sieve	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector
Tenerife	tf_mod_can_sieve	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
Tenerife	tf_mod_gen_sieve	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector

Cartografía de modelos combustible: Nombre de los archivos cartográficos en **formato shapefile**

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La metodología presentada a lo largo del documento permite la **obtención de cartografía de modelos de combustible en diferentes formatos** (vector y raster) **a elevados grados de detalle** (alta y media resolución) **y para diferentes tipos de caracterizaciones de modelos de combustible** (canarios y clásicos de rothermel).

Como ya avanzamos la utilización de información procedente de sensores remotos (datos LiDAR, fotointerpretación) permite:

- **Obtener cartografías de grandes cantidades de superficie a bajo coste:** Se trata de una metodología de muy bajo coste, ya que por un precio muy ajustado se aborda un trabajo a escala de las 5 islas forestales de Canarias, en concreto más de 367.000 ha estudiadas que suponen un 73% de la superficie total de las Islas Canarias
- **Trabajar con un alto nivel de detalle.** Se obtienen cartografía de modelos de combustible de alta resolución (celdas de 25x25 m), mucho mayor que cualquier cartografía que se está utilizando en la actualidad.
- **Resultados fácilmente actualizables.**
 - En cuanto a la información de estructura (sensores LiDAR) GRAFCAN realiza vuelos periódicos cada año o año y medio. Además el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea prevé actualizaciones cada 2 o 3 años.
 - Respecto la composición vegetal, es posible la aplicación de técnicas combinadas de procesamiento de datos procedentes de sensores remotos activos y pasivos para obtener cartografías actualizadas a bajo coste.

Así, por ejemplo se podrían actualizar las superficies afectadas por los incendios de La Gomera y Tenerife en 2012. La cartografía presentada es una “foto” de la situación justo posterior a sendos incendios, y por tanto se asignan modelos de combustibles correspondientes a estratos arbolados sin apenas cobertura arbolada. Sin embargo dada la gran capacidad de recuperación de las masas arboladas en canarias tras incendio, éstas han evolucionado a situaciones de cierta recuperación del estrato arbolado en poco tiempo. La aplicación de la presente metodología a datos LiDAR procedentes de últimos vuelos permitiría corregir de forma inmediata los modelos de combustible de combustible asignados a situaciones actuales.

Este ejemplo es aplicable a otras superficies afectadas por cortas, descalces de grandes áreas por vendavales, crecimientos de los ecosistemas, etc.

Algunas consideraciones

- La cartografía resultante está basada sólo en datos estructurales del LIDAR (FCC y altura) y de composición vegetal (mapa formaciones forestales); por tanto no se usan datos de cargas de combustible, ni proporción de combustible vivo/muerto (no requerido en esta clasificación pero que se puede necesitar para cartografía de combustibles basada en otras clasificaciones más complejas, e.g. Scott & Burgan). La información adicional aportada por la intensidad del LIDAR podría utilizarse para distinguir biomasa muerta y viva, pero esta técnica todavía está en fase de investigación.

- En masas arboladas, no tenemos información sobre la composición del sotobosque. No obstante, disponemos de la información estructural de los datos LIDAR (altura y cobertura del matorral bajo arbolado, continuidad/discontinuidad vertical) para poder discriminar bien modelos 9 (hojarasca) de modelos 7 (matorral bajo arbolado). Pero en los modelos 7 que se diferencian por la composición no es fácil la asignación al no poder discriminar bien entre casos (e.g. difícil distinguir entre modelos 7.C, 7.D, 7.E y 7.G, ya que todos son modelos para pinares cuya principal diferencia se basa en la composición específica del sotobosque). La posible mejora en la clasificación para este tipo de modelos **sólo sería posible mediante la realización de trabajo de campo**, puesto que con teledetección sólo disponemos de la información relativa a las copas y no del sotobosque existente bajo el arbolado.
- Tampoco se han incluido los modelos 10 (restos bajo masas arboladas) ya que no podemos discriminar si los restos en el sotobosque son de origen natural (plagas, enfermedades) o de explotaciones (tratamientos selvícolas). Mediante teledetección se pueden detectar zonas forestales afectas por agentes bióticos y abióticos, pero de nuevo sólo se podría distinguir el daño en las copas y no los restos bajo arbolado a los que se refieren estos modelos de combustible. Por tanto, la asignación de este tipo de modelos asociados a masas arboladas sólo sería válida mediante su verificación en campo. Además, la identificación mediante cartografía previa o datos LiDAR no estaría justificada si no se corresponde con datos actualizados dado el carácter temporal de estas perturbaciones.
- Se ha contado con información de estructura de alta precisión en toda la superficie de estudio. Sin embargo para este tipo de modelos de combustible (Rothermel y derivados) es necesario contar con información de composición (el mapa de formaciones forestales) de igual precisión. Aunque se ha realizado un gran esfuerzo por actualizar el mapa de vegetación y transformarlo en el mapa de formaciones forestales actualizado con el que se ha trabajado en el presente trabajo, dicha actualización se ha encontrado con algunas dificultades que condicionan los resultados obtenidos para las zonas donde se ubican dichas formaciones forestales. Así por ejemplo:
 - En general ha sido complicado o imposible revisar los límites que se establecen entre la laurisilva y el resto de fayal-breza por su gran similitud.
 - Se han encontrado dificultades en la diferenciación de los siguientes grupos:
 - Pinares y otros pinares con sotobosque.
 - Fayal-breza con pinos y el resto de fayal-breza
 - Tabaibal-cardonal, Tabaibal amargo, Comunidad nitrófila, Vegetación rupícola, Espineros con granadillos, Retamar, Escobonal, Jaral, Codesar y Retamar blanco en muchos casos.
 - Laurisilva y Espineros con granadillos.
 - Comunidad nitrófila y herbazal tampoco se puede distinguir con retamares en algunas zonas.
 - Comunidades de tomillos con otras comunidades que no muestran altura
 - Dada la escala de trabajo, las zonas de interfaz urbano forestal se han caracterizado en su totalidad con el tipo de formación 53 (Restos de áreas).

Aplicaciones y próximos pasos

La cartografía resultante **mejora de forma evidente la existente tanto en grado de detalle como de actualización** en las zonas donde hubiera mapas de combustible previos, y aporta información espacial de enorme relevancia en las zonas donde no la hubiera.

Una primera aplicación directa es su uso en simuladores de incendios forestales como una fuente de entrada de datos adicional con la que poder anticipar el comportamiento de potenciales incendios forestales. Otras aplicaciones relevantes son su uso como herramienta esencial tanto en trabajos de extinción de incendios como en la planificación y gestión de ecosistema vegetales.

Sin embargo, es necesario señalar que es una cartografía que **no aporta información diferenciadora en las zonas de interface forestal**. También es necesario hacer notar que puede aportar datos no del todo estrictos en los modelos 7 de matorral bajo arbolado. Y por último la imposibilidad de caracterizar los modelos 10 de restos bajo arbolado.

Si se pretendiera mejorar en el futuro los mapas de combustible presentados, se podrían llevar a cabo las siguientes acciones:

- Una primera, la más sencilla y directa es **mantener la cartografía actualizada** mediante la aplicación de los datos LiDAR de futuras campañas de vuelo que se realicen en las Islas. Esta acción es altamente recomendable por su bajo coste por un lado y por rentabilizar y dar uso a la captura de datos LiDAR que se realizan de forma periódica en las islas.
- Realizar **trabajos de campo** para aquellas zonas donde existe un estrato de vegetación (matorral o arbustivo) con el fin de identificar la composición de esos estratos inferiores y afinar en la caracterización de los modelos 7. Mediante un procesamiento inicial de los datos LiDAR es posible identificar las potenciales superficies donde se dan estas circunstancias de matorral bajo arbolado y dirigir de forma precisa la ubicación donde el trabajo de campo es necesario.
- Realizar **actualizaciones del mapa de vegetación** por medios que no estén basados en la fotointerpretación manual. El trabajo realizado en la creación del mapa de formaciones forestal ha sido arduo y generoso. Sin embargo la **aplicación de técnicas de procesamiento de datos procedente de sensores remotos** permite aliviar el trabajo del operador así como alcanzar mejores niveles de detalle por un lado y aumentar en la objetividad y homogeneidad de los resultados por otro.
- Desarrollar cartografías de modelos de combustible basados únicamente en la componente estructural de las masas, tales como los modelos de la clasificación Prometheus; eliminando así la fuente de entrada de datos menos precisa al procesamiento.

Seguramente, **la mejor opción** pasa por **una combinación de varias de las acciones apuntadas**, en concreto:

- La utilización de un mapa de vegetación actualizado mediante el uso de sensores remotos para, combinado con datos estructurales del LiDAR, desarrollar segmentos homogéneos en cuanto a composición y estructura.
- Localizar aquellos segmentos donde exista dificultad para identificar su composición, bien sean matorrales bajo arbolado, o formaciones difícilmente identificables entre sí (e.g. laurisilvas frente a fayal-brezal) para llevar a cabo trabajo de campo específico.

- Finalmente, combinar el resultado del trabajo de campo con la generación de modelos expertos (similares a los algoritmos de decisión) que permitan asignar a cada segmento el modelo de combustible correspondiente.